

MEJORAMIENTO POBLACIONAL,  
UNA ALTERNATIVA PARA EXPLORAR

LOS RECURSOS GENÉTICOS DEL  
**ARROZ** EN AMÉRICA LATINA

Editor: Elcio P. Guimarães

Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT  
Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour  
le développement - Département des cultures annuelles - CIRAD-CA  
Apartado Aéreo 6713  
Cali, Colombia  
Tel: (57-2) 445 0000  
Fax: (57-2) 445 0094  
Correos electrónicos Proyecto Arroz: [ciat-rice@cgiar.org](mailto:ciat-rice@cgiar.org) y [calim@cirad.fr](mailto:calim@cirad.fr)

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Arroz e Feijão  
Rod. Goiânia Nova Veneza, Km 12  
75375-000 San Antônio de Goiás, GO - Brasil  
Tel: (55-62) 533 2115  
Fax: (55-62) 533 2100  
Correo electrónico: [sac@cnpaf.embrapa.br](mailto:sac@cnpaf.embrapa.br)

Producción  
Nelly Manosalva de Nivia - Cali, Colombia

Diseño de Carátula  
Rogelio Chovet - Fundación Polar / Caracas, Venezuela

Publicación CIAT No. 337  
ISBN 958-694-061-9  
Tiraje: 500 ejemplares  
Impreso en Colombia  
Octubre 2003

Mejoramiento poblacional, una alternativa para explorar los recursos genéticos del arroz  
en América Latina / editor. Elcio P. Guimarães. Cali, Colombia: Centro Internacional de  
Agricultura Tropical (CIAT), 2003.  
374 p. — (Publicación CIAT no. 337)  
ISBN 958-694-061-9

1. *Oryza sativa*. 2. Arroz irrigado. 3. Arroz de secano. 4. Fitomejoramiento. 5. Recursos  
genéticos vegetales. 6. Selección recurrente. 7. Variación genética. 8. *Rhizoctonia solani*. 9.  
*Pyricularia*. 10. Resistencia a la enfermedad. 11. Rendimiento. 12. Marcadores genéticos. 13.  
Sabanas. 14. Suelo ácido. 15. América Latina. 16. Caribe.

Clasificación LC.: SB 191 .R5 M456

Categoría de Matera AGRIS: F30 Genética y Fitomejoramiento.

Elcio P. Guimarães, Investigador de Embrapa Arroz e Feijão, actualmente en la Organización de las  
Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO, Senior Officer Cereal/Crops Breeding,  
Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Roma, Italia.  
Correo electrónico: [elcio.guimaraes@fao.org](mailto:elcio.guimaraes@fao.org)

## ***CAPÍTULO 10***



**Carlos Eduardo Gamboa**

### **Avances en el Programa de Mejoramiento Poblacional a través de la Selección Recurrente en Venezuela**

**Carlos Eduardo Gamboa<sup>1</sup>  
Eduardo José Graterol<sup>1</sup>  
Ramiro de la Cruz<sup>1</sup>  
Yorman Jayaro<sup>1</sup>**

1. Investigadores de la Fundación para la Investigación Agrícola Danac.  
Apdo. Postal 182. San Felipe, estado Yaracuy, Venezuela.  
Correo electrónico: [cgamboa@danac.org.ve](mailto:cgamboa@danac.org.ve)

## **Contenido**

Resumen

Abstract

Introducción

Mejoramiento poblacional

Mejoramiento de la PFD-2

Mejoramiento de la PFD-1

Población PFD-1 (BE)

Población PCT-16

Población PCTFD-20

Desarrollo de líneas

Consideraciones finales

Referencias

## RESUMEN

La Fundación para la Investigación Agrícola Danac (FD), el Instituto Nacional de Investigación Agrícola (INIA) y la Fundación Nacional del Arroz (FUNDARROZ) liberaron diversas variedades de arroz para Venezuela recientemente. A pesar de ello, aún siguen presentes algunas limitantes que las técnicas tradicionales de mejoramiento no han resuelto. El objetivo de este capítulo es mostrar los avances logrados dando énfasis al manejo de las poblaciones PFD-1 y PFD-2 y al proceso de obtención de líneas segregantes de éstas. No obstante que los resultados de la PFD-1 indican que ésta presenta variabilidad para el desarrollo de líneas con buen potencial de rendimiento de grano y resistencia a *Piricularia*, se podrían dedicar esfuerzos para disminuir yeso y centro blanco y mejorar su calidad molinera. La PFD-2 aún se encuentra en sus etapas iniciales del proceso de mejoramiento y poco se puede decir sobre su potencial. Con base en la evaluación de las familias  $S_{0,2}$  de la PFD-1 se creó una nueva población de base genética estrecha: la PFD-1 (BE). La FD después de extraer líneas de la PCT-16 decidió iniciar el proceso de mejoramiento poblacional de la misma. La PFD-1 presenta un limitado potencial para la característica grosor de los tallos y por ello se decidió crear la PCTFD-20\0\0\0. Se introdujeron en la PFD-1 seis líneas del cruce BG90-2/O. *rufipogon*. Al mismo tiempo que se realizaba el mejoramiento poblacional se derivaban líneas para el programa de desarrollo de variedades. Esta etapa se considera como una oportunidad para conocer el potencial de las poblaciones como fuente de variedades y progenitores potenciales. Con base en estos resultados iniciales el mejoramiento poblacional se considera como una alternativa promisoría para el portafolio de estrategia de la FD.

## ADVANCES IN THE VENEZUELAN RECURRENT SELECTION PROGRAMME FOR POPULATION IMPROVEMENT IN RICE ABSTRACT

The Foundation for Agricultural Research—Danac (FD), the National Institute of Agricultural Research (INIA) and the National Rice Foundation (FUNDARROZ) recently launched several rice varieties for Venezuela. However, the varieties show limitations that traditional breeding techniques could not resolve. This chapter aims to show the progress made in the management of rice populations PFD-1 and PFD-2, and how their segregating lines were obtained from them. Results from PFD-1 indicate that sufficient variability exists to develop lines with good potential for grain yield and blast resistance. However, efforts must be directed towards reducing chalkiness and white belly in the grain, and improving milling quality. PFD-2 is still in the initial stages of improvement, and not much can be said of its potential. Based on evaluations of the  $S_{0,2}$  families of PFD-1, a new and genetically narrow population has been created: PFD-1 (BE). PFD-1 has had stem thickness. Having had extracted lines from PCT-16, Danac decided to create the new population PCTFD-20\0\0\0. Six lines from the cross B90-2/O. *rufipogon* were introduced into PFD-1. Simultaneously, lines were derived for variety development. This stage, however, was regarded as exploratory, to learn of the populations' potential as sources for varieties and parental materials. Preliminary results suggest that population improvement is a promising alternative for Danac's strategy portfolio.

## INTRODUCCIÓN

La Fundación para la Investigación Agrícola Danac (FD) liberó en el año 2001 la variedad D-Primera, y en el 2002 la D-Sativa (Comunicaciones 290 y 434 del Servicio Nacional de Semillas, emitidas en julio del 2001 y septiembre del 2002, respectivamente). A su turno otras organizaciones como el Instituto Nacional de Investigación Agrícola (INIA) y la Fundación Nacional del Arroz (FUNDARROZ), liberaron también nuevas variedades que irrumpieron en casi 10 años sin nuevas alternativas para los agricultores venezolanos. Los nuevos materiales de ensayos experimentales de rendimiento de grano, de acuerdo con los datos de los informes del Servicio Nacional de Semillas (SENASA), rindieron alrededor de 5% más que las antiguas variedades. Esto quiere decir que los programas de mejoramiento genético generaron materiales que produjeron ganancias de alrededor de 0,5% al año.

El desarrollo de cultivares de arroz en América Latina, a través de la utilización de los métodos convencionales de mejoramiento, ha producido resultados significativos similares o superiores a los observados en Venezuela. Sin embargo, varios trabajos recientes han indicado que los progresos genéticos han

disminuido, que la base genética de los nuevos cultivares se ha estrechado y que probablemente se ha alcanzado un techo de rendimiento Cuevas-Pérez *et al.* (1992). Como consecuencia, la productividad promedio de la región ha estado estancada durante varios años aunque muchos programas de mejoramiento genético están trabajando para incrementar los rendimientos de grano de los nuevos materiales.

Todo programa necesita contar con una gama de métodos que permita alcanzar el objetivo planteado como la liberación de cultivares no sólo con altos rendimientos de grano en campo, sino también de alta calidad en el molino, buena calidad culinaria y resistencia a las enfermedades.

En Venezuela, como parece ocurrir en la mayoría de los países productores de arroz, se está alcanzando el límite de rendimiento antes mencionado, incluso con los cultivares recién liberados. El manejo de recursos genéticos a través de la creación de poblaciones de amplia base genética, y el uso de una metodología de mejoramiento que acumule genes favorables de manera continua es una alternativa para contrarrestar estos limitantes. Además, la estrategia implementada ha permitido una mayor integración de las actividades ejecutadas por los diferentes programas de mejoramiento existentes en el

país, integración que se ha consolidado con la ejecución conjunta de proyectos cofinanciados por el Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT).

Entre los métodos disponibles, el mejoramiento poblacional mediante la selección recurrente es el que cumple con estos dos aspectos. Partiendo de esta premisa la FD inició sus actividades en mejoramiento poblacional por selección recurrente con la introducción de seis poblaciones y un acervo genético segregado por un gen recesivo de androesterilidad (Graterol, 2000). Este germoplasma se introdujo a partir de los trabajos colaborativos que se llevan a cabo con el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia, y el "Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement-Département des cultures annuelles" (CIRAD-CA).

La conducción de este germoplasma en las condiciones de riego en Calabozo, Venezuela, permitió seleccionar las poblaciones PCT-6 y PCT-7 como base genética adaptada y fuente de la androesterilidad genética para formar las poblaciones PFD-1 y PFD-2. Estas dos poblaciones se crearon para mejorarlas para la estación de cultivo de las lluvias y del verano, respectivamente. Además, a medida que los ciclos

de recurrencia avancen se espera obtener líneas de estas poblaciones que podrán ser útiles como progenitores con base genética amplia y diferente a la utilizada por el programa de la FD e incluso, como posibles fuentes de variedades comerciales.

El objetivo de este capítulo es mostrar los avances realizados enfatizando el manejo de las poblaciones PFD-1 y PFD-2 sometidas al proceso de selección recurrente y, el proceso de obtención de líneas segregantes de éstas buscando romper el techo de rendimiento de grano observado en el país.

#### MEJORAMIENTO POBLACIONAL

El proyecto arroz de la FD aplica el mejoramiento poblacional con la expectativa de generar nuevas y mejores poblaciones que se utilizarán como fuente de variabilidad para el desarrollo de líneas. Esa actividad se realiza de manera paralela con las actividades de mejoramiento por medio de los métodos de pedigrí, masal y otros.

Para facilitar la presentación primero se planteará la estrategia general utilizada para manejar poblaciones, y a continuación se discutirá el manejo utilizado para mejorar la PFD-2 y luego la PFD-1.

Los trabajos de mejoramiento poblacional de la FD se basan en ciclos de

selección recurrente con evaluación y selección de familias  $S_{0,2}$ . La estrategia requiere la conducción de trabajos en dos tipos de ambientes:

- Fuera del área productora de arroz para el avance de la generación  $S_{0,1}$  a la  $S_{0,2}$  y también para las recombinaciones entre ciclos de selección.
- En las regiones productoras de arroz, es decir en sitios para los cuales se están generando las poblaciones.

Las generaciones  $S_0$  y  $S_{0,2}$  se conducen en estos sitios y se seleccionan plantas y líneas, respectivamente. Para el primer tipo de ambiente se está utilizando la sede de la FD en San Javier, Estado Yaracuy, y para el segundo, áreas experimentales en Calabozo, estado Guárico, y en Acarigua, estado Portuguesa.

Para facilitar la distribución de las actividades y mejorar poblaciones para las dos estaciones de siembra existentes en el país, se generó la PFD-1 con germoplasma más adaptado al invierno y la PFD-2 con uno adaptado al verano. La existencia de poblaciones creadas para condiciones distintas requiere que las evaluaciones sean programadas. De esta manera las generaciones en las cuales se hacen las evaluaciones y selecciones en la PFD-1 ( $S_0$  y  $S_{0,2}$ ) siempre se siembran en invierno. Para la

PFD-2 se utiliza la misma estrategia pero con las siembras de las  $S_0$  y  $S_{0,2}$  en verano.

El trabajo es responsabilidad de la FD pero las líneas  $S_{0,2}$  las evalúan y seleccionan de forma compartida la Fundación y el INIA, contando en algunas oportunidades con la participación de profesores de alguna Universidad, como la Central de Venezuela, en Maracay. Estas actividades han permitido incrementar y mejorar la integración entre las diferentes instituciones nacionales que trabajan con el tema del mejoramiento genético en Venezuela.

## MEJORAMIENTO DE LA PFD-2

Esta población descrita por Graterol (2000) se generó con base en la introducción de cuatro líneas avanzadas en el germoplasma de la PCT-7 y, se creó para las condiciones de verano, época en que los problemas son la fuerte presencia del insecto Sogata (*Tagosodes orizicolus* Muir) —transmisor de la enfermedad Virus de la Hoja Blanca (VHB)— y el limitado potencial de rendimiento de grano de las variedades actualmente en cultivo.

La PFD-2 se evaluó por primera vez en el verano 1999/2000 (Cuadro 1), cuando se sembraron y transplantaron 6000 plantas  $S_0$  (ciclo 0) en Calabozo. Al momento de la maduración

fisiológica, alrededor de los 120 días después de la siembra (dds), se seleccionaron 271 plantas fértiles por sus características fenotípicas. Los criterios utilizados fueron: buen macollamiento, longitud de grano medio —requerido por la industria local—, altura de planta intermedia, buena excursión de las panículas y ciclo de crecimiento de mediano a corto. También se observó, bajo presión natural, su comportamiento frente al VHB y al daño mecánico de la Sogata.

Con el objetivo de avanzar de la generación  $S_{0,1}$  a la  $S_{0,2}$ , en el invierno del 2000, se sembraron como familias las 271 plantas seleccionadas en la generación  $S_0$ . Durante esa etapa se observó que más del 60% de las familias presentaban problemas de altura de planta, esto es por encima de los patrones establecidos como deseables. Este comportamiento llevó a la decisión de seleccionar las familias más bajas para la recombinación. En el verano 2000/01, en San Javier se sembró con las semillas  $S_{0,1}$  remanentes, una mezcla de las familias seleccionadas. En esa etapa antes de la floración, se eliminaron las plantas más altas y se recombinaron las restantes.

Como el mejoramiento de la PFD-2 está previsto como una alternativa para generar materiales para el ciclo de verano, y dado que el siguiente

ciclo de siembra fue el de invierno, se decidió efectuar una nueva recombinación durante el invierno del 2001. En esa ocasión se sembraron 6000 plantas y al momento de la floración se eliminaron aquellas cuya altura superaba el promedio de la población y se dejaron para recombinación. En resumen, se obtuvo una población que se sometió inicialmente a dos selecciones para altura de planta ( $S_0$  y  $S_{0,1}$ ), luego a una recombinación, y que después pasó por otro ciclo de selección ( $S_0$ ) y recombinación (Cuadro 1).

El primer ciclo de selección recurrente con base en familias  $S_{0,2}$  comenzó en el verano del 2001/02. En Calabozo se establecieron por trasplante cerca de 6000 plantas de la población básica ( $S_0$  del ciclo 0) utilizando la misma metodología ya mencionada. La selección visual de las mejores plantas se realizó a los 120 dds cuando se escogieron 478 plantas fértiles. Los criterios también fueron similares a los mencionados antes, es decir buen macollamiento, longitud de grano medio, altura de planta intermedia, buena excursión de las panículas y ciclo de mediano a corto. También se consideró el comportamiento frente al VHB y al daño mecánico.

Siguiendo la metodología propuesta por Graterol (2000) se avanzaron las 478 plantas de la generación  $S_{0,1}$  a la  $S_{0,2}$  en el

invierno 2002. En esa etapa, que no es de selección, se eliminaron 28 familias porque presentaban graves problemas de acame, susceptibilidad a *Piricularia*, *Helmintosporiosis* y *Sarocladium*. Para el ciclo del verano del 2002/03 se evaluarán en dos localidades (Acarigua y Calabozo) las 450 familias  $S_{0,2}$  y se seleccionarán las mejores familias para la recombinación que se hará en el invierno del 2003.

### **MEJORAMIENTO DE LA PFD-1**

Para desarrollar materiales más adaptados a las condiciones del cultivo de invierno, la FD decidió crear la población PFD-1 basada en la introducción de cinco líneas avanzadas a la PCT-6 (Graterol, 2000). El objetivo fue producir germoplasma con resistencia a las principales enfermedades presentes en ese periodo del año, además de mantener los patrones de calidad molinera y culinaria requeridos por la industria, y los de productividad exigidos por los agricultores.

El material básico ( $S_0$  del ciclo 0) se sembró en Calabozo en el periodo de las lluvias del año 1999, cuando se establecieron por trasplante 6000 plantas. En la maduración, que ocurrió alrededor de los 120 dds, se seleccionaron 306 plantas  $S_0$  fértiles. Los criterios para la selección de las plantas

fueron: buen macollamiento, longitud de grano medio, altura de planta intermedia, tallos fuertes con ángulo de inclinación de intermedio a bajo, buena excersión de las panículas y ciclo de mediano a corto. Se seleccionaron sólo las plantas que no presentaron reacción de susceptibilidad a *Piricularia* en el cuello de la panícula, a *Hemintosporiosis*, *Sarocladium* y Manchado de grano.

Durante el ciclo de verano 1999/2000, en San Javier, se realizó el avance de las 306 familias de la  $S_{0,1}$  a la  $S_{0,2}$ , mediante siembra por trasplante. De las 306  $S_{0,1}$  se descartaron 75 por presentar plantas altas, ciclo largo, arquitectura muy abierta y tallos débiles. Esto es que se mantuvieron y cosecharon semillas de 231 familias  $S_{0,2}$  para ser evaluadas en el siguiente ciclo. Al momento de la cosecha en cada una de las familias  $S_{0,2}$  se hizo un masal con seis plantas fértiles seleccionadas por su fenotipo.

La evaluación de las 231  $S_{0,2}$  se realizó en cuatro localidades, tres para evaluar rendimiento de grano y calidad molinera y una para determinar su comportamiento frente a *Piricularia*. Para la evaluación de rendimiento de grano se estableció un ensayo en Acarigua y dos en Calabozo. El del primer sitio se ubicó en la estación experimental del INIA-Araure y

Cuadro 1. Estrategia de manejo de las poblaciones que están siendo mejoradas por la Fundación para la Investigación Agrícola Danac.

Población	I-1999 <sup>1</sup>	V-2000 <sup>1</sup>	I-2000	V-2001	I-2001	V-2002	I-2002	V-2003	I-2003
PFD-1 <sup>2</sup>	6000 $S_0$	306 $S_{0,1}$	231 $S_{0,2}$	70 $S_{0,2}$ Recombinación	8000 $S_0$	670 $S_{0,1}$	$S_{0,2}$ 288	Recombinación	$S_0$
PFD-1 (BE)	-	-	-	5 $S_{0,2}$ Recombinación	3000 $S_0$	210 $S_{0,1}$	-	$S_{0,2}$ (210)	$S_{0,3}$
PFD-2 <sup>2</sup>	-	6000 $S_0$	271 $S_{0,1}$ (sel. familias)	$S_0$ (sel. plantas) y Recombinación	$S_0$ (sel. plantas) y Recombinación	6000 $S_0$	478 $S_{0,1}$	450 $S_{0,2}$ Recombinación	Recombinación
PCT-16 <sup>3</sup>	-	-	3000 $S_0$	3000 $S_0$	3000 $S_0$	-	3000 $S_0$	$S_{0,1}$	$S_{0,2}$
PCTFD-20	-	-	-	-	-	-	-	CIAT (Rec 1)	CIAT (Rec 2)

1. I = Invierno y V = Verano.
2. Población bajo mejoramiento poblacional.
3. Poblacional para extracción de líneas.

los del segundo, en la Parcela 182 del Sistema de Riego Río Guarico y en la estación experimental del INIA-Calabozo. Las evaluaciones de reacción a Piricularia se realizaron en la estación experimental del INIA-Barinas donde la presión del patógeno es elevada comparada con los demás sitios de evaluación.

Para los ensayos de Acarigua y Calabozo el diseño experimental utilizado fue el de bloques aumentados de Federer (BAF) con los testigos locales Cimarrón, Fonaiap 1, Fundarroz PN-1 y Palmar. Para la evaluación de resistencia a Piricularia se utilizó la escala recomendada por el CIAT (CIAT, 1996).

Una vez realizado el análisis de los testigos y la comparación en cada bloque por localidad se seleccionó el 30% de las familias evaluadas, es decir 70 familias. En el Cuadro 2, que muestra los resultados de algunas de las

familias seleccionadas, se observa que varias líneas seleccionadas por rendimiento de grano presentan valores de yeso + centro blanco superiores a los estándares establecidos por la industria (máximo de 17 puntos porcentuales). Por ello se planificó desde ese momento seleccionar un mayor número de plantas  $S_0$  del ciclo 1 y evaluar el centro blanco de las mismas para aumentar la probabilidad de seleccionar y avanzar sólo las plantas con buen comportamiento para esta variable.

A pesar que algunas de las familias que más rindieron presentaron valores entre 4 y 6, las restantes seleccionadas presentaron una reacción tipo 1 para Piricularia en la hoja. Eso indica que existen genes de resistencia en la población y que se podría progresar cuando se enfatice más en esa característica.

En el Cuadro 2 se observa que el tratamiento No. 18 de

Cuadro 2. Resultados de rendimiento, calidad molinera y resistencia a Piricularia de algunas de las familias seleccionadas para recombinar.

Tratamiento (No.)	Rendimiento (kg/ha)	Yeso + Centro blanco	Piricularia en la hoja
18	7000,8	60,0	1
67	5634,5	32,5	1
85	5201,7	17,5	1
130	4993,7	13,9	4
177	5407,8	49,7	1
206	5358,8	16,9	4

elevado rendimiento de grano, presenta limitantes con respecto a sus valores de yeso + centro blanco. Para evitar que la población mejorada esté sesgada sólo a la característica rendimiento de grano, se seleccionaron líneas como la 130 que aporta los genes deseados para yeso + centro blanco o la línea No. 85 que aporta resistencia a *Piricularia* en la hoja.

Para completar el primer ciclo de selección recurrente para la población PFD-1 es necesario recombinar las familias seleccionadas y crear la población mejorada del ciclo 1 (C1). En el verano del 2000/01 se recombinaron las 70 familias  $S_{0,2}$  seleccionadas en el semestre anterior. Para ello con las semillas remanentes de la generación  $S_{0,1}$  se efectuó una mezcla física de tres gramos de semilla de cada una de las 70 familias seleccionadas. La siembra se realizó por trasplante en San Javier, donde se establecieron tres fechas de siembra para que coincidieran las fechas de floración y así propiciar el cruzamiento entre las plantas precoces y tardías. El número de total de plantas sembradas fue de 6000 de las cuales 841 resultaron androestériles, es decir 14%.

Como se observó en la evaluación de la  $S_{0,2}$  la población no presentó un buen nivel para la característica de yeso + centro blanco. Por esto, se decidió

efectuar cambios en la metodología para explorar mejor la variabilidad disponible en la población PFD-1 y se incrementó el número de plantas seleccionadas en la  $S_0$  y se decidió someterlas a un proceso de evaluación temprana para centro blanco, como ya se anotó.

Para dar continuidad al trabajo de mejoramiento poblacional de las semillas  $C1S_0$  se sembraron 2000 y 6000 plantas en el periodo de las lluvias del 2001 en dos localidades, Araure y Calabozo, y se seleccionaron 245 y 425 plantas fértiles en Portuguesa y Guarico, respectivamente. Los criterios de selección fueron los mismos utilizados en el ciclo anterior. Una vez cosechadas las plantas seleccionadas, en la panícula principal de las mismas se evaluó la longitud de la panícula midiendo desde el inicio del raquis hasta la punta de la misma y el peso de la panícula. Además, como ya se mencionó, se evaluó la calidad del grano (centro blanco).

Una vez hechas las evaluaciones en la población PFD-1 en Araure y Calabozo, para la característica centro blanco se obtuvo la distribución que se presenta en la Figura 1. El análisis de los resultados muestra que los valores obtenidos en Araure y Calabozo tienen una distribución normal de Shapiro y Wilk de 0,983 y 0,976, respectivamente (Shapiro y Wilk, 1965). Esto indica que dentro de

la población se puede encontrar un rango amplio de valores de centro blanco que van de 0,2 hasta mayores de 2,5. Asimismo, es importante destacar que el comportamiento es muy similar en las dos localidades lo cual muestra que la característica es estable en esos dos ambientes. Además se encontró hasta un 40% de plantas con valores de centro blanco por debajo del grado 1, lo cual es deseable.

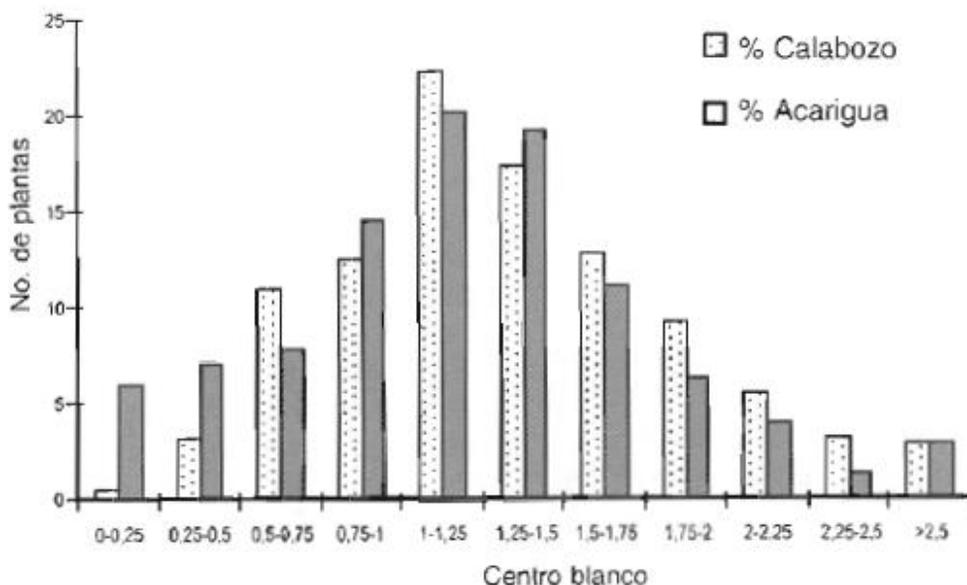
Con base en el reporte sobre India y Estados Unidos de Chang y Somrith (1979) y Lin y Ban (1981), se anota que el carácter centro blanco es monogénico recesivo y por lo tanto, se supone que existe una alta probabilidad de encontrar buenas características de éste en la descendencia de plantas.

Para dar continuidad al proceso de mejoramiento poblacional de las 670 plantas  $S_0$  (semillas  $S_{0,1}$ ) evaluadas, se seleccionaron 288 que presentaron valores de centro blanco por debajo de 1,2. Esos materiales se avanzaron a  $S_{0,2}$  siguiendo el cronograma que se presenta en el Cuadro 1.

### POBLACIÓN PFD-1 (BE)

Con base en la evaluación efectuada a las familias  $S_{0,2}$  de la PFD-1 en el invierno del 2000, se decidió crear una nueva población de base genética más estrecha que la población original (PFD-1 BE). Esta decisión buscaba producir una nueva población que solamente tuviera como representantes las cinco

Figura 1. Distribución de centro blanco en la PFD-1 en Calabozo y Acarigua.



familias de mejor comportamiento en las evaluaciones del año 2000. Esa población se exploraría mediante la selección recurrente pero con la intención de obtener líneas mejoradas de las generaciones segregantes que pudieran incorporarse de manera inmediata al programa convencional de mejoramiento.

El manejo de esta población sufrió algunos cambios en su camino como se observa en el Cuadro 1, debido a replanteamiento de la estrategia de trabajo con las poblaciones que maneja el programa. De la generación  $S_0$  se sembraron en Calabozo 3000 plantas en el invierno del 2001. En esa etapa se seleccionaron 210 plantas  $S_0$ , que se avanzaron de acuerdo con el cronograma del Cuadro 1.

#### POBLACIÓN PCT-16

Desde el invierno del 2000 esta población se ha utilizado para la extracción de líneas. Dado el potencial mostrado por las líneas seleccionadas, la FD decidió iniciar el proceso de mejoramiento poblacional de la PCT-16. En el invierno del 2002 se sembraron 3000 plantas  $S_0$ , de las cuales se seleccionaron algunas que siguen el cronograma del Cuadro 1.

Como resultado de esa estrategia de desarrollo de líneas de esa población, en la actualidad se evalúa la PCT-16>104-M-5-M-1-1 en

ensayos de líneas élites. Sus resultados son muy alentadores: el porcentaje de grano entero promedio es de 55,6%, los valores de yeso + centro blanco están alrededor de 10,7 y su contenido de amilosa es de 25,9%. Los resultados de rendimiento de grano variaron de 4326 kg/ha en el verano 2001/02, en Araure, a 7875 kg/ha en el invierno 2002, en Calabozo. Los estudios con esa líneas seguirán adelante buscando una posible recomendación como nuevo cultivar.

#### POBLACIÓN PCTFD-20

Los investigadores que han manejado la PFD-1 mencionan que la población presenta un limitado potencial para la característica grosor de los tallos y que las líneas derivadas de esta población han sufrido volcamiento. Con el objetivo de corregir este problema el CIAT decidió crear una nueva población con base en la PFD-1. Para ello se escogieron seis líneas originarias de cruces entre variedades de la especie *O. sativa* (variedad BG90-2) y accesiones de la especie silvestre *O. rufipogon*.

La composición de la PCTFD-20 (Cuadro 3) se obtuvo de cruces entre las líneas y una muestra de la población, una estrategia similar a la seguida por Borrero *et al.* (2000). La etapa de cruces, iniciada en el 2001, se

empezó con la siembra de la población PFD-1\0\0\2 y siete progenitores:

- CT13941-11-M-25-5-M-M
- CT13946-26-M-5-3-M-M
- CT13958-13-M-26-4-M-M
- CT13956-29-M-29-2-M-M
- CT13959-3-M-10-4-M-M
- CT13976-7-M-14-1-M-M
- CT14938-36-1-M-1

El cruce obtenido con este último progenitor se eliminó cuando se cosechó la

generación  $F_2$ . En la floración se escogieron las panículas estériles (seis por cada progenitor) y se polinizaron con el polen de las líneas utilizadas como padres. De cada cruzamiento se obtuvieron 50 semillas en promedio que se sembraron para obtener la generación  $F_2$ . Cada planta  $F_2$  se cosechó individualmente dentro de cada cruce, y una vez obtenidas las semillas de los

Cuadro 3. Composición de la población PCTFD-20.

Progenitor	Contribución relativa de los progenitores (%)
CT13941-11-M-25-5-M-M	8,33
CT13946-26-M-5-3-M-M	8,33
CT13958-13-M-26-4-M-M	8,33
CT13956-29-M-29-2-M-M	8,33
CT13959-3-M-10-4-M-M	8,33
CT13976-7-M-14-1-M-M	8,33
PFD-1\0\0\2	50,00

Cuadro 4. Etapas del proceso de creación de la población PCTFD-20.

Actividad	Fecha de siembra
Siembra PFD-1\0\0\2 y de las siete líneas del cruce <i>O. rufipogon</i> /BG90-2	Diciembre 2001
Obtención de las semillas $F_1$	Abril 2002
Siembra de las semillas $F_1$	Junio 2002
Cosecha de las semillas $F_2$	Octubre 2002
Siembra de la población original PCTFD-20\0\0\0	Noviembre 2002
Cosecha de las semillas $S_0$ de la PCTFD-20\0\0\0 (primera recombinación)	Marzo 2002
Siembra de las semillas $S_0$ de la PCTFD-20\0\0\1 para obtener la segunda recombinación	Abril 2003

seis cruces se mezclaron en iguales cantidades originando la población PCTFD-20\0\0\0. Las etapas del proceso de creación de la nueva población se presentan en el Cuadro 4.

#### DESARROLLO DE LÍNEAS

Los programas de mejoramiento genético del arroz que cuentan con el manejo de poblaciones como una alternativa adicional a sus estrategias, buscan obtener resultados a mediano plazo y no esperan poder aprovechar las poblaciones desde sus primeras etapas de desarrollo. Sin embargo, no existen reglas que impidan a los fitomejoradores explorar la variabilidad disponible en la población base, y en todas las generaciones segregantes que se originan del proceso de mejoramiento de la misma. Por lo tanto, a continuación se va a reportar la experiencia de derivar y evaluar líneas segregantes extraídas de la PFD-1.

En el ciclo de invierno del 2000 considerando los datos de aceptación fenotípica a la madurez (AFM), se seleccionaron 64 familias  $S_{2,3}$ , de las 231  $S_{0,2}$  derivadas de la PFD-1, siguiendo el flujo de líneas descrito en el Cuadro 5. Se sembraron en el ciclo de verano del 2000/01 en dos localidades (Araure y Calabozo) donde de acuerdo con los resultados de AFM, se

seleccionaron 46 líneas  $S_{3,4}$  que se evaluaron en el ciclo de invierno del 2001. Durante este ciclo se realizó una selección entre y dentro de familias, teniendo en cuenta el rendimiento de grano —para lo cual se utilizó el diseño de BAF— y la AFM. Se seleccionaron nueve familias entre las cuales se escogieron entre 9 y 10 plantas por familia, una estrategia que produjo un total de 93 plantas que conformaron el ensayo de líneas  $S_{4,5}$  del ciclo de verano del 2001/02. Como resultado de esta evaluación se seleccionaron dos líneas sobresalientes que se evaluaron en los ensayos preliminares de rendimiento de grano en el ciclo de invierno del 2002. Esta etapa se considera como una oportunidad para conocer el potencial de la población como fuente de variedades y progenitores potenciales.

Sobre este resumen de las etapas seguidas por las líneas  $S_{0,2}$  seleccionadas de la PFD-1 en el invierno 2000, es válido resaltar que el proceso es continuo y que se obtuvieron líneas nuevas en las generaciones segregantes siguientes que no se incluyen aquí. En el invierno del 2002, por ejemplo, se escogieron 94 líneas que seguirán etapas similares a éstas aquí reportadas.

Como se observa en el Cuadro 6 las líneas extraídas de la población original aún no presentan potencial de

rendimiento de grano competitivo con los testigos comerciales (sin análisis estadísticos de esos datos). Esta es una característica que puede esperarse, pues la población aun no se ha sometido al proceso de recurrencia con énfasis en esa característica. Sin embargo, el promedio de estas líneas es bastante elevado indicando el

potencial de la población para el futuro del programa de mejoramiento.

Al observar otras características de algunas de las líneas seleccionadas (Cuadro 7) se puede afirmar que también existe potencial para el mejoramiento. Para el rendimiento de molino, por ejemplo, se encontraron varias

Cuadro 5. Flujo de las líneas  $S_{0,2}$  seleccionadas en el ciclo de invierno del 2000 para producir líneas fijas a partir de la población PFD-1.

Ciclo	Tipo de ensayo	Línea evaluada (No.)	Observación
Verano 2000/01	Familias $S_{2,3}$	64	-
Invierno 2001	Familias $S_{3,4}$	46	-
Verano 2001/02	Líneas $S_{4,5}$	93	La mayoría de las líneas presentó problemas de Yeso y Centro blanco
Invierno 2002	Preliminar de rendimiento	2	Ambas líneas presentaron problemas de fortaleza de los tallos

Cuadro 6. Rendimiento de grano de las líneas  $S_{2,4}$  derivadas de la de la PFD-1 y seleccionadas en Calabozo, estado Guárico, en el invierno 2001.

Parcela (No.)	Material	Rendimiento de grano (kg/ha)
9	FD-1A06	6432,9
21	I-01A24	6087,8
24	I-01A21	6243,3
26	I-01A20	3935,7
28	I-01A25	6000,8
31	I-01A18	3934,7
39	I-01A12	5496,1
44	I-01A19	6252,8
54	I-01A14	6448,8
Promedio de los testigos		8050,3

líneas con más del 54% de granos enteros y algunos materiales presentan la combinación yeso + centro blanco por debajo de los 17 puntos porcentuales.

Aunque estas líneas presentan limitantes para su liberación como variedad a los agricultores, podrían ser útiles como progenitores en el programa de cruzamientos: además de que pueden aportar algunas características específicas, son originarias de una base genética más amplia que las variedades que en la actualidad se cultivan en el país.

En el Cuadro 8 se incluye un resumen de la participación

de las líneas originarias de las poblaciones en el programa de cruzamientos de la FD. En el verano del 2001/02 ya representaban más del 50% de participación en los cruzamientos, y en el invierno del 2002 alcanzaron el 80%. Estos resultados indican la contribución de esas líneas al proceso de generación de variabilidad.

#### CONSIDERACIONES FINALES

La experiencia de la FD en el manejo de poblaciones ha permitido abrir nuevas perspectivas a los programas de mejoramiento genético del arroz

Cuadro 7. Líneas  $S_{3,5}$  derivadas de la PFD-1 y seleccionadas en la siembra del ciclo verano 2001/02, en Calabozo, estado Guarico.

Parcela No.	Rendimiento (kg/ha)	Granos enteros (%)	Yeso + Centro blanco (%)
11	8797,8	54,38	49,36
19	8706,0	50,00	42,80
22	8944,0	50,00	53,96
27	8717,9	54,38	17,24
73	6878,4	54,38	7,64

Cuadro 8. Porcentaje de participación de líneas provenientes de la PFD-1 en los cruces realizados por la Fundación Danac en el verano de 2001/02 y en el invierno del 2002.

Progenitor	Verano 2001/02 (%)	Invierno 2002 (%)
Masculino en cruces triples	32	-
Masculino en cruces simples	11	70
Femenino en cruces simples	11	10

del país por diversas razones:

- a) Es una alternativa adicional a las que disponen los fitomejoradores.
- b) Las poblaciones son nuevas y continuas fuentes de variabilidad genética a disposición del fitomejorador.
- c) Genera mayor integración entre los diferentes actores del mejoramiento genético del arroz que laboran en el país.
- d) Es una estrategia de mediano plazo para el desarrollo de variedades.

De acuerdo con los resultados observados durante las etapas de mejoramiento de las poblaciones PFD-1 y PFD-2, en particular de la primera, se puede decir que ésta presenta variabilidad que permite desarrollar líneas con buen potencial de rendimiento de grano y resistencia a Piricularia. Sin embargo, se requieren más esfuerzos para disminuir los valores de las características yeso y centro blanco y mejorar su calidad molinera. Si se alcanzan esos objetivos habrá mayor posibilidad de desarrollar líneas que puedan llegar a ser variedades. La PFD-2 aún se encuentra en las etapas iniciales del proceso de mejoramiento y poco se puede decir sobre su potencial, pero ya se han dedicado esfuerzos a corregir su excesiva altura de planta.

El trabajo con las poblaciones ha permitido

incrementar y diversificar el número de progenitores utilizados en el programa de cruzamientos, uno de los objetivos planteados cuando se inició el uso de esa metodología.

Otro aspecto que cabe resaltar es la ganancia de experiencia en manejar poblaciones segregantes de amplia base genética bajo las condiciones agro ecológicas de Venezuela, un aspecto inexistente antes de que se incorporara esa estrategia al programa de mejoramiento. En general, la generación de variabilidad se concentraba en la ejecución de cruces simples, triples o máximo dobles lo que limitaba el uso de los recursos genéticos disponibles en el país.

La interacción con otras instituciones como la Universidad Central de Venezuela ha permitido incrementar la eficiencia del programa de mejoramiento genético del arroz de la FD.

## REFERENCIAS

- Borrero, J.; Châtel, M; y Triana, M. 2000. Mejoramiento poblacional del arroz irrigado con énfasis en el Virus de la Hoja Blanca. En: Guimarães, E. P. (ed.). Avances en el mejoramiento poblacional en arroz. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, Brasil. p. 105-118.
- Cuevas-Pérez, F. E.; 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.
- Chang, T. T., y Somrith, B. 1979. Genetic studies on the grain quality of rice. In: *Proc. Workshop on chemical aspects of rice grain quality.* International Rice Research Institute, Manila, Filipinas. p. 49-58.
- Graterol, M. E. J. 2000. Caracterización de poblaciones e introducción de variabilidad genética para iniciar un programa de mejoramiento poblacional del arroz en Venezuela. En: Guimarães, E. P. (ed.). *Avances en el mejoramiento poblacional en arroz.* Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, Brasil. p. 87-103.
- IRRI. 1988. *Standard evaluation system for rice.* 3<sup>rd</sup>. ed. International Rice Research Institute, Los Baños, Filipinas. 54 p.
- Rangel, P. H. N. 2000. *Avances en el mejoramiento poblacional en Arroz.* En: Guimarães, E. P. (ed.). *Avances en el mejoramiento poblacional en arroz.* Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, Brasil. p. 65-85
- Lin, X. S. y Ban, R. D. 1981. The inheritance of the glutinous character in rice and its application in breeding. *Fujian Agric. Sci. Technol.* 4:5-6.
- Shapiro, S. S., y Wilk, M. B. 1965. An analysis of variance test for normality. *Biometrika* 52:591-611.