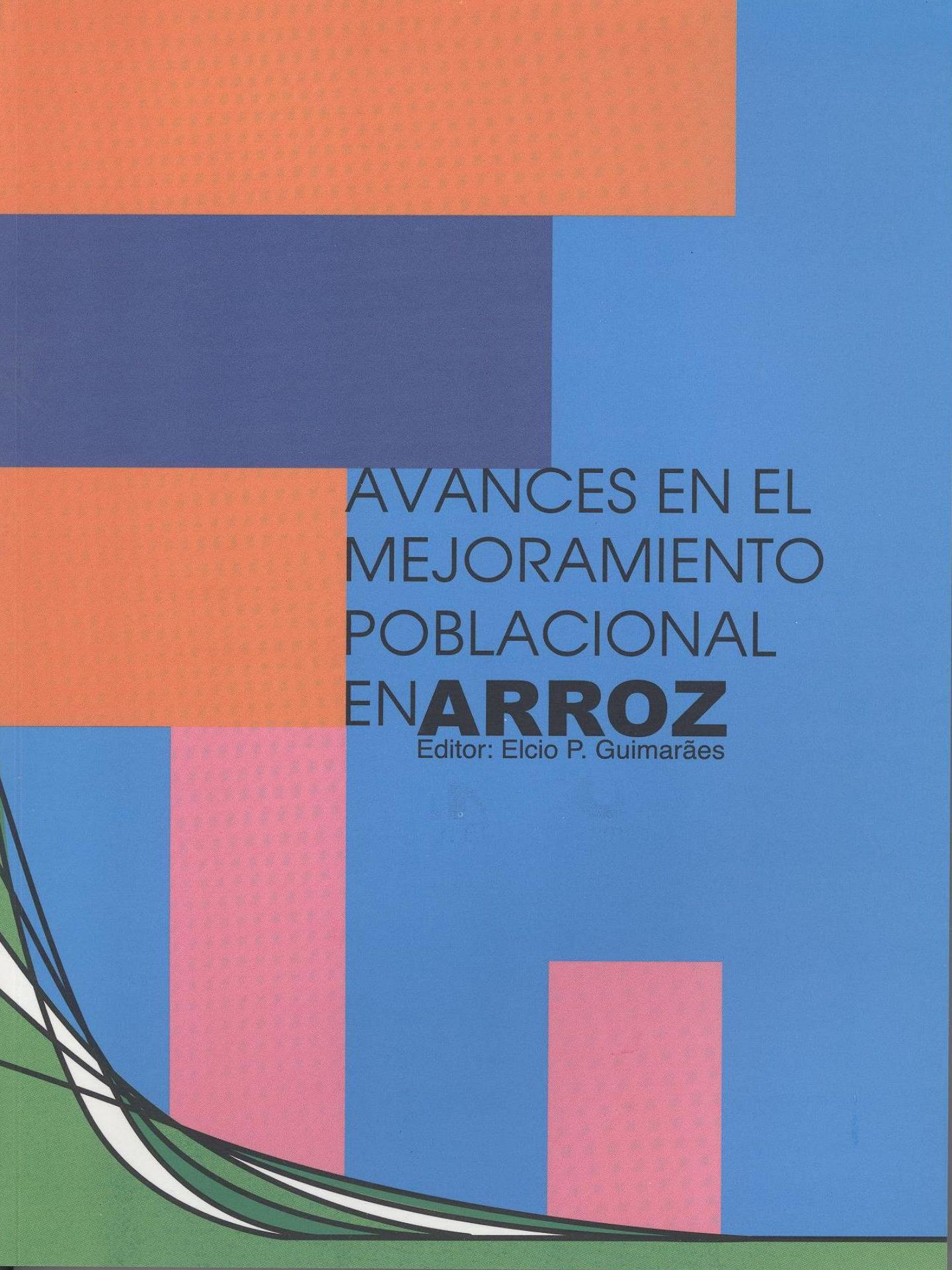


The background of the cover is composed of several large, overlapping geometric shapes. At the top left is a large orange rectangle. Below it, to the left, is a dark blue rectangle. To the right of the dark blue rectangle is a large light blue area that occupies the right half of the cover. In the bottom left corner, there is a stylized landscape with a green hill and a white path that curves upwards. Two vertical pink rectangles are positioned in the lower half of the cover, one to the left of the center and one to the right of the center.

AVANCES EN EL MEJORAMIENTO POBLACIONAL EN **ARROZ**

Editor: Elcio P. Guimarães

Ejemplares de esta publicación pueden solicitarse a:

Embrapa Arroz e Feijão

Rod. Goiânia Nova Veneza, Km 12

Caixa Postal 179

Tel: (0xx62) 533.2194

Fax: (0xx62) 533.2100

E-mail: sac@cnpaf.embrapa.br

75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO - Brasil

Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT

Apartado Aéreo 6713

Tel: (2) 445.00.00

Cali, Colombia

Producción

Nelly Manosalva de Nivia - Cali, Colombia

Diseño de Carátula

Rogelio Chovet - Fundación Polar/Venezuela

Catalogación en la Fuente

Ana Lucia Delalibera de Faria - Embrapa Arroz e Feijão

Tiraje: 600 ejemplares

CIP-Brasil. Catalogação-na-publicação.
Embrapa Arroz e Feijão.

Guimarães, Elcio P.

Avances en el mejoramiento poblacional en arroz / editado por Elcio P. Guimarães. - Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. 311 p.

Inclui bibliografias.

ISBN 85-7437-007-X

1. Arroz - Melhoramento Populacional. 2. Arroz -
Melhoramento Genético Vegetal. I. Título.

CDD 633.182 - 21.ed.

© Embrapa, 2000

CAPÍTULO 5

Caracterización de Poblaciones e Introducción de Variabilidad Genética para Iniciar un Programa de Mejoramiento Poblacional del Arroz en Venezuela



Eduardo J. Graterol M.

Eduardo J. Graterol M.

Fundación para la Investigación Agrícola Danac,
Apdo. Postal 182
San Felipe, Estado Yaracuy, Venezuela;
Correo electrónico:
fdanac@danac.org.ve

CONTENIDO

Resumen

Abstract

Introducción

Objetivos del Programa de Mejoramiento

Caracterización de las Poblaciones y Acervos Genéticos Introducidos

 Ensayo del ciclo de lluvias

 Ensayo del ciclo de verano

 Selección de poblaciones base

Introducción de Variabilidad Genética

 Criterios de selección de progenitores

 Progenitores seleccionados

 Formación de nuevas poblaciones

Mejoramiento por Selección Recurrente y Extracción de Líneas

Conclusiones

Agradecimientos

Referencias

RESUMEN

En 1996, la Fundación Danac, en Venezuela, inició un proyecto de selección recurrente en arroz con el objetivo de mejorar poblaciones adaptadas a las condiciones de producción de arroz del país. El proyecto contempló la formación y mejoramiento de dos poblaciones: la PFD-1, adaptada al período de lluvias o invierno, y la PFD-2, adaptada al período de sequía o verano. El proyecto se inició con la introducción de poblaciones del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Colombia, que poseen base genética para las condiciones del cultivo bajo riego y segregan para un gen de androesterilidad. El proyecto se dividió en tres etapas. La primera fue la caracterización de poblaciones y acervos genéticos introducidos con el fin de seleccionar las que se utilizarían como fuente de variabilidad y androesterilidad para formar las nuevas poblaciones. De esta primera etapa, realizada en 1996 y 1997, se seleccionaron las poblaciones PCT-6 y PCT-7 como base para formar la PFD-1 y PFD-2, respectivamente. La segunda etapa fue la introducción de nueva variabilidad a las poblaciones base. Para ello se seleccionaron cinco progenitores caracterizados en el programa. Estos progenitores se introdujeron a la población PCT-6 para formar la PFD-1 y cuatro de ellos, a la población PCT-7 para formar la PFD-2. Durante 1998 y hasta 1999 se realizaron dos recombinaciones de las poblaciones básicas. En 1999 se inició la tercera etapa que es el mejoramiento de las poblaciones por selección recurrente y la extracción de líneas para el programa de desarrollo de cultivares. En este trabajo se presentan los avances realizados en las dos primeras etapas del proyecto y el esquema de trabajo previsto para la tercera.

CHARACTERIZATION OF POPULATIONS AND INTRODUCTION OF GENETIC VARIABILITY TO BEGIN A RICE POPULATIONAL IMPROVEMENT PROGRAM IN VENEZUELA

ABSTRACT

In 1996, the Fundación Danac in Venezuela began a recurrent selection project in rice to improve populations adapted to the country's major rice-producing regions. The project established and improved two populations: PFD-1, adapted to rainy seasons, and PFD-2, adapted to dry seasons. The project began with populations from the Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), based in Colombia, with a genetic base for flood-irrigation conditions and segregation for a male-sterile gene. The project was organized into three phases: the first involved characterizing the populations and gene pools introduced from CIAT to select those that can be used as sources of variability and male sterility to create new populations. In this phase, conducted in 1996 and 1997, two populations, PCT-6 and PCT-7, were selected as population bases to form PFD-1 and PFD-2 populations, respectively. The second phase introduced new variability into the base populations. Five progenitors were selected from the traditional breeding program. These progenitors were introduced into PCT-6 to create PFD-1. Four were introduced into PCT-7 to create PFD-2. From 1998 to 1999, the base populations were recombined twice. The third phase began in 1999, and involves improving populations by recurrent selection and deriving fixed lines for cultivar development. This paper describes the main advances achieved during the project's first two phases and the work plan for the third one.

INTRODUCCIÓN

Los mejoradores de arroz han empleado distintas metodologías para desarrollar líneas con alto potencial de rendimiento y tolerancia a las principales limitantes bióticas y abióticas. De estos métodos, la selección genealógica en familias biparentales ha sido la más utilizada debido al progreso genético obtenido (Ikehashi y Fujimaki, 1980). Los programas de mejoramiento genético, en la búsqueda de materiales con buenas características agronómicas, han utilizado un limitado grupo de progenitores en sus cruzamientos que han reducido la base genética de los cultivares. Cuevas-Pérez *et al.* (1992) señalaron que las variedades de arroz liberadas en América Latina y el Caribe durante el período 1971-1989 tienen en su genealogía 14 cultivares comunes provenientes de siete países y que reciben de ellos el 69% de su constitución genética.

La selección recurrente es un método de mejoramiento de poblaciones que permite incrementar la frecuencia de genes favorables. Además favorece múltiples recombinaciones entre progenitores de diversos orígenes ampliando la base genética del germoplasma mejorado (Chatel y Guimarães, 1997). A partir de estas poblaciones es posible seleccionar líneas que pueden llegar a ser nuevas variedades. Según Martínez *et al.* (1995) el arroz es quizás el cereal donde menos se ha utilizado el mejoramiento poblacional y sin embargo, los resultados iniciales de su utilización han sido promisorios

(Chatel y Guimarães, 1997). La aplicación de este método en arroz se favorece con la utilización de un gen de androesterilidad que facilita el manejo de las poblaciones (Chatel y Guimarães, 1995).

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Colombia, y el Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), Francia, están centrando sus actividades en el desarrollo y mejoramiento de acervos genéticos y poblaciones para los ecosistemas de riego y secano. El propósito de este trabajo es crear germoplasma mejorado para algunas características específicas manteniendo un buen nivel para los demás caracteres de interés agronómico, con el propósito de que los programas nacionales de arroz en América Latina y el Caribe puedan derivar sus variedades (Chatel *et al.*, 1997). Algunos de estos acervos y poblaciones ya han sido utilizados como punto de partida para proyectos de mejoramiento poblacional en la región (Chatel *et al.*, 1997) y en África (Chatel y Guimarães, 1997).

Para iniciar un programa de mejoramiento poblacional a través de la selección recurrente, es necesario disponer de un germoplasma con adecuada variabilidad genética para las características que se desean mejorar. De acuerdo con esto, es posible iniciar el programa tomando como base una población que posea adaptación y variabilidad a las condiciones para las cuales se desarrollará la nueva población.

En 1996, la Fundación Danac, en Venezuela, inició un trabajo de selección recurrente en arroz con el objetivo de desarrollar poblaciones adaptadas a las condiciones de la producción de arroz en el país. En este capítulo se presenta la estrategia desarrollada en Venezuela para iniciar el programa de mejoramiento poblacional de arroz.

OBJETIVOS DEL PROGRAMA DE MEJORAMIENTO

La producción de arroz en Venezuela se concentra en la región de los Llanos Centrales y Occidentales del país. Las siembras se realizan en dos ciclos o semestres del año, una en el período de lluvias o invierno que comprende los meses de mayo a octubre, y otra en el período de sequía o verano que va de noviembre a abril. Toda la producción se realiza bajo el sistema de riego por inundación (Martínez, 1998).

En el período de lluvias ocurre una alta presión de enfermedades fungosas, en particular piricularia (*Pyricularia grisea* Sacc.), y además se presenta una alta nubosidad que ocasiona una disminución de los rendimientos en campos comerciales.

En contraste, en el ciclo de verano disminuye la presión de enfermedades fungosas y ocurre una alta radiación solar que favorece el logro de mejores rendimientos. Sin embargo, en ese ciclo es significativo el daño del insecto denominado sogata (*Tagosodes orizicolus* Müir)

que afecta de manera severa los rendimientos al alimentarse del cultivo y transmitir el virus de la hoja blanca (VHB).

Las diferencias entre ciclos de siembra hacen que el comportamiento de las variedades comerciales en ambos ciclos sea distinto. Además, las estrategias de mejoramiento tradicionales no han sido efectivas en la incorporación de todas las características de adaptabilidad, tales como resistencia, rendimiento y calidad de grano en un mismo cultivar. De otro lado, se ha explorado una base genética muy limitada en la búsqueda de estas variedades. Por esta razón el proyecto de mejoramiento poblacional de la Fundación Danac se planteó como objetivo mejorar dos poblaciones, cada una adaptada a un ciclo diferente de cultivo: PFD-1 para el ciclo de lluvias y PFD-2 para el de verano. Con ello se persigue incrementar la frecuencia de genes favorables para mejorar la adaptación del germoplasma para cada ciclo, a partir del cual se puedan seleccionar líneas con un alto potencial y una amplia base genética comparada con las variedades obtenidas por métodos tradicionales.

El proyecto de la Fundación Danac contempló tres etapas que se describen a continuación:

- Caracterización de poblaciones y acervos genéticos introducidos.
- Introducción de variabilidad para formación de nuevas poblaciones básicas.
- Mejoramiento mediante selección recurrente y extracción de líneas.

CARACTERIZACIÓN DE LAS POBLACIONES Y ACERVOS GENÉTICOS INTRODUCIDOS

La primera etapa de caracterización de poblaciones y acervos genéticos se realizó con el fin de conocer la variabilidad y adaptación de los germoplasmas creados por el proyecto colaborativo del CIAT/CIRAD y la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (EMBRAPA), Brasil, para el ecosistema de riego y que poseen segregación de un gen de androesterilidad. Ello se realizó con el objetivo de seleccionar los más adaptados como base para la formación de nuevas poblaciones.

En 1996 se introdujeron a Venezuela seis poblaciones y acervos genéticos disponibles en el banco de germoplasma del CIAT e identificadas en el catálogo de registro de poblaciones (Chatel y Guimarães, 1998). El criterio tomado para la selección del germoplasma fue que su fenotipo y su composición genética presentasen perspectivas de adaptación para los objetivos planteados en el proyecto.

Los acervos genéticos evaluados fueron IRAT 1/420P e IRAT Mana, creados por el CIRAD (Martínez *et al.*, 1997), el GPCT-9, y las poblaciones PCT-6, PCT-7, y PCT-8 formadas por el CIAT (Chatel y Guimarães, 1998). Los ensayos se realizaron en el campo experimental de la Fundación Danac ubicado en Calabozo, Estado Guárico, la región de producción más importante de los Llanos Centrales de Venezuela. En el

ciclo de lluvias de 1996 se evaluaron todas las poblaciones y acervos genéticos excepto el GPCT-9, y en el ciclo de verano 1996/97 se evaluaron de nuevo todas las poblaciones y los acervos IRAT Mana y GPCT-9 excluyendo en este caso IRAT 1/420P.

Ensayo del ciclo de lluvias

El ensayo se realizó de julio a noviembre de 1996. Se establecieron por transplante 500 plantas de cada población y acervo genético, 25 días después de la siembra (dds) en semillero. Las plantas se colocaron en surcos de 5.0 m de largo, separadas 0.2 m entre plantas y 0.3 m entre surcos. Una vez establecidas se seleccionaron al azar 100 plantas en cada una, con la única restricción de no incluir plantas ubicadas en los extremos para reducir el efecto de borde. Se evaluó un grupo de variables agronómicas de interés, todas mediante escalas establecidas en el sistema de evaluación estándar del IRRI (IRRI, 1988). Estas fueron:

- Número de tallos (Ti) contando el número de macollas a los 70 dds.
- Días a floración (Fi): días hasta el momento de la emergencia del 50% de la primera inflorescencia en cada planta.
- Altura de plantas (Ht): medida en cm en la madurez de las plantas desde la base hasta el ápice de la panícula superior.
- Piricularia en la hoja (BI) a los 40 dds.
- Piricularia en el cuello (NBI) a los 28 días después de la floración (ddf).

- Helmintosporiosis (BS) (*Bipolaris oryzae*) a los 70 dds.
- Pudrición de la vaina (ShR) (*Sarocladium oryzae*) a los 28 ddf.
- Añublo de la vaina (ShB) (*Rhizoctonia spp.*) a los 90 dds.

El criterio para la selección de las poblaciones fue la apreciación fenotípica y la variabilidad observada para el conjunto de variables evaluadas. Las variables cuantitativas (Ti, FI y Ht) se compararon por sus valores promedios y algunos estadísticos de dispersión que indican el grado de variabilidad. Además, se analizó la distribución de frecuencias para esas mismas variables.

En cuanto a la incidencia de enfermedades se analizó el número de plantas susceptibles en cada población, considerando dentro de esta categoría todas aquellas plantas con síntomas iguales o mayores a cinco según la escala del IRRRI (IRRI, 1988).

En el Cuadro 1 se presenta los promedios, la desviación estándar y el coeficiente de variación encontrados para las variables Ti, FI y Ht y en las Figuras 1, 2 y 3 se muestra la distribución de frecuencias para las mismas. El Cuadro 2 muestra los resultados del número de plantas susceptibles por población y acervo genético para BI, NBI y ShR. En algunos casos no se logró tomar datos en las 100 plantas debido a la pérdida de algunas de ellas durante el desarrollo del ensayo.

Los resultados indican que para Ti la población PCT-7 y el acervo genético IRAT Mana presentaron los mayores promedios y ésta última, una mayor variabilidad para esta característica. La población PCT-6 y el acervo genético IRAT 1/420P registraron valores promedios muy similares pero un poco más bajos que las anteriores. Sin embargo, la población PCT-6 fue la de mayor variabilidad para Ti con un coeficiente de variación superior al 40%. La población PCT-8 presentó el menor promedio de Ti (Cuadro 1 y Figura 1).

La población con mayor FI y con menor variabilidad fue PCT-8 seguida por la PCT-6. Los acervos genéticos y la población PCT-7 fueron las más precoces con un promedio cercano a los 90 días. En general, la mayor proporción de individuos presentó una FI entre los 80 y 104 días. Sólo la PCT-8 presentó una distribución entre los 85 y los 109 dds (Cuadro 1 y Figura 2).

Para Ht se observaron diferencias entre las poblaciones y los acervos genéticos. La población más alta fue PCT-7 seguida por IRAT Mana y PCT-6, y en un último grupo PCT-8 e IRAT 1/420P. IRAT Mana presentó, además de gran altura, problemas de acame. PCT-8 e IRAT 1/420P en cambio presentaron una baja altura (Cuadro 1 y Figura 3).

Aunque los materiales se sembraron en el ciclo de lluvias la cantidad de plantas enfermas por BI y NBI fue baja (Cuadro 2), lo que puede indicar que las poblaciones poseen genes de resistencia efectivos ante la población del hongo o que ocurrieron

Cuadro 1. Resultados de las evaluaciones del número de tallos (Ti), días a floración (Fi) y altura de plantas (Ht) en poblaciones y acervos genéticos de arroz caracterizados en Venezuela.

Población o acervo genético	Variable evaluada ¹											
	Número de tallos				Días a floración				Altura de plantas			
	N.P.	χ	D.E.	C.V. (%)	N. P.	χ	D.E.	C.V. (%)	N.P.	χ	D.E.	C.V. (%)
IRAT 1/420P	100	9,7	2,59	26,54	100	89,2	9,06	10,16	98	81,1	10,54	12,98
IRAT Mana	98	10,8	3,75	34,48	90	90,2	7,75	8,59	98	96,7	15,63	16,15
PCT-6	100	9,6	4,04	42,09	95	93,1	8,97	9,63	95	88,5	17,45	19,71
PCT-7	100	11,1	2,51	22,59	96	90,4	7,51	8,30	94	101,7	14,18	13,94
PCT-8	100	7,6	2,74	35,80	98	96,4	6,99	7,24	92	83,8	12,14	14,49

1. N.P.: número de plantas evaluadas; χ : promedio; D.E.: desviación estándar; y C.V.: coeficiente de variación en porcentaje.

Cuadro 2. Número de plantas susceptibles a piricularia en la hoja (BI), piricularia en el cuello (NBI) y pudrición de la vaina (ShR) en poblaciones y acervos genéticos de arroz caracterizados en Venezuela.

Población o acervo genético	Número de plantas susceptibles ¹		
	Piricularia en la hoja	Piricularia en el cuello	Pudrición de la vaina
IRAT 1/420P	2	1	32
IRAT Mana	1	0	34
PCT-6	2	1	17
PCT-7	0	3	15
PCT-8	9	4	17

1. Se consideró susceptible todas aquellas plantas con una evaluación igual o mayor a cinco en las respectivas escalas del IRRI (IRRI, 1988).

posibles escapes. La población PCT-8 fue la que presentó más plantas susceptibles a BI y NBI en comparación al resto de las poblaciones y acervos genéticos.

La incidencia de NBI fue aún más baja que la de BI. Al igual que con BI la población PCT-8 presentó un mayor número de plantas enfermas. Es probable que ello esté asociado con una menor resistencia a la población del patógeno (Cuadro 2).

De las enfermedades evaluadas, ShR fue la de mayor incidencia. Las poblaciones PCT-6, PCT-7, y PCT-8 presentaron menor cantidad de plantas susceptibles (entre 15 y 17 cada una) que los acervos genéticos IRAT 1/420P e IRAT Mana (32 y 34 plantas, respectivamente) (Cuadro 2). La incidencia de BS y ShB fue baja por lo que no fue posible establecer diferencias entre los materiales.

Figura 1. Distribución de frecuencias para la variable número de tallos obtenidas en el ensayo de caracterización de poblaciones y acervos genéticos de arroz en Venezuela.

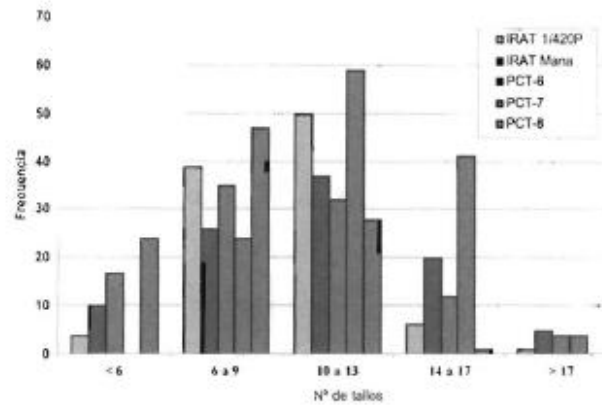


Figura 2. Distribución de frecuencias para la variable días a floración obtenidas en el ensayo de caracterización de poblaciones y acervos genéticos de arroz en Venezuela.

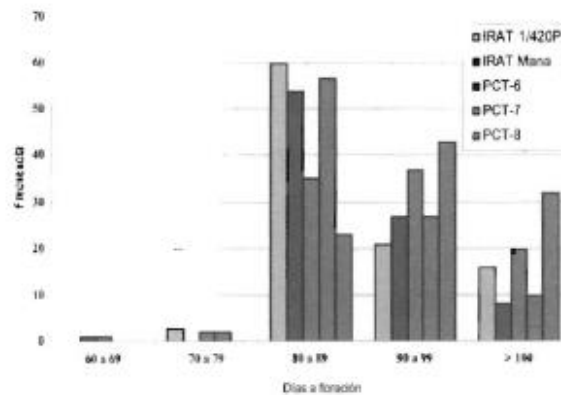
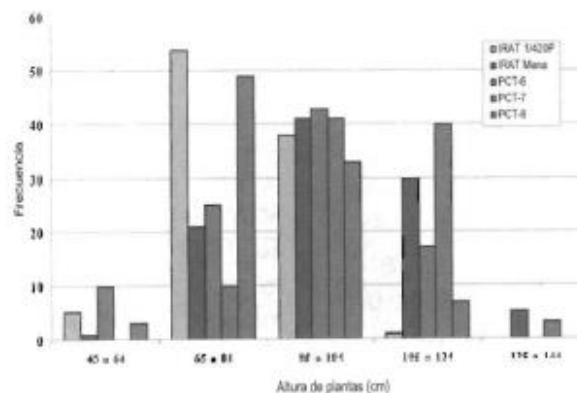


Figura 3. Distribución de frecuencias para la variable altura de plantas obtenidas en el ensayo de caracterización de poblaciones y acervos genéticos de arroz en Venezuela.



Ensayo del ciclo de verano

El ensayo se realizó entre diciembre de 1996 y abril de 1997. Se evaluaron los acervos genéticos IRAT Mana y GPCT-9 y las poblaciones PCT-6, PCT-7, y PCT-8. A diferencia del ciclo de lluvias, sólo se evaluó la incidencia del VHB pues la incidencia de enfermedades fungosas no fue significativa. A pesar de la alta presión del VHB, el daño directo del insecto sogata no fue significativo. Se apreció el fenotipo de cada una de las poblaciones con el fin de conocer su comportamiento en este ciclo.

Para el ensayo se establecieron 2000 plantas de cada población y acervo genético mediante transplante, con un arreglo de campo similar al realizado en el ciclo anterior. Las evaluaciones de incidencia del VHB se realizaron a los 40, 55, y 70 dds contando el número de plantas enfermas. En el Cuadro 3 se presenta los resultados de la incidencia máxima de plantas enfermas con VHB. No obstante que las evaluaciones se realizaron con presión natural del insecto, se presentó una incidencia moderada a alta del VHB. La incidencia del virus en el acervo genético IRAT Mana fue

significativamente menor que en el resto de los materiales, lo cual puede ser indicio de la efectividad de genes de resistencia incluidos en este acervo.

En general, el desarrollo de las poblaciones fue más vigoroso que el observado en el ciclo de lluvias. Las poblaciones PCT-6 y PCT-7 se destacaron por el macollamiento de sus plantas, mientras que el acervo genético GPCT-9 presentó gran variabilidad fenotípica para Ht y Fl. IRAT Mana presentó plantas muy altas y al igual que en el ciclo de lluvias fue susceptible al acame.

Selección de poblaciones base

La caracterización realizada a los acervos genéticos y poblaciones en las condiciones de campo en Calabozo, permitió conocer sus características fenotípicas y el comportamiento ante las principales limitantes bióticas. Los resultados obtenidos indicaron que las poblaciones PCT-6 y PCT-7 ofrecían el mejor fenotipo y variabilidad bajo las condiciones en las cuales se realizó la evaluación. Por ello, ambas se seleccionaron como base para la formación de las nuevas poblaciones.

Cuadro 3. Incidencia de plantas enfermas con virus de la hoja blanca en poblaciones y acervos genéticos de arroz caracterizados en Venezuela.

Población o acervo genético	Número de plantas enfermas	Incidencia (%)
IRAT Mana	191	9,6
PCT-6	386	19,3
PCT-7	366	18,3
PCT-8	303	15,2
GPCT-9	308	15,4

La población PCT-6 presentó gran variabilidad para la variable Ti y FI. El fenotipo de esta población, además de la baja incidencia de las enfermedades evaluadas, permitió seleccionarlo como germoplasma base para la población PFD-1. La población PCT-6 fue sintetizada en el CIAT por introducción de nueve progenitores al acervo genético IRAT Mana (Chatel y Guimarães, 1998).

La población PCT-7, que presentó un buen macollamiento, además de una baja incidencia de las enfermedades evaluadas, se seleccionó como base para la población PFD-2. Uno de los aspectos que se debe considerar en la utilización de esta población es la altura de plantas que deberá disminuirse en la formación y manejo de la nueva población. La PCT-7 fue creada por el CIAT a partir de la introducción de seis líneas de diversos orígenes al acervo genético IRAT 1/420P (Chatel y Guimarães, 1998).

El acervo genético IRAT Mana presentó plantas altas y una baja incidencia de la mayoría de las enfermedades evaluadas. Sin embargo, la susceptibilidad a la pudrición de la vaina y al acame fueron características indeseables que las descartaron como base para las nuevas poblaciones.

Los resultados obtenidos con IRAT Mana coinciden con lo señalado por Martínez *et al.* (1997) quienes encontraron que en Colombia este acervo genético fue susceptible al acame y presentó plantas altas con

pocas macollas. Esto indica que con la introducción de variabilidad realizada por el CIAT en la IRAT Mana para formar la PCT-6 se logró incorporar mayor adaptación, manteniendo las características favorables que ofrecía la población original.

Los otros materiales evaluados también se descartaron por su apariencia fenotípica. El acervo genético GPCT-9, que sólo se evaluó en el ciclo de verano, presentó una alta variabilidad fenotípica pero con plantas indeseables, debido quizás a la amplia divergencia genética entre los progenitores que lo conforman (Chatel y Guimarães, 1998). IRAT 1/420P no presentó características deseadas para las condiciones de riego de la región ya que presentó un pobre desarrollo de plantas. La población PCT-8 presentó una baja altura y pobre macollamiento, además de que fue la población con mayor proporción de plantas susceptibles a BI y NBI.

Con la selección de las poblaciones PCT-6 y PCT-7 como base para la formación de nuevas poblaciones, se logró disponer de las fuentes de androesterilidad y de una amplia base genética producto de la combinación de progenitores de diversos orígenes. La población PCT-6 posee en común con la PCT-7 los progenitores B4353C-Kn-7-0-0-2, BG989, PNA 1004F4-33, OR83-23, RP2087-115-10-5-1, y Oryzica 3 (Chatel y Guimarães, 1998). La PCT-7 se formó con la introducción de estos progenitores a la IRAT 1/420P a su vez constituida por cultivares del grupo *índica*. La PCT-6

se formó con los mismos progenitores introducidos para la PCT-7 más los cultivares Perla, Oryzica Llanos 4 y Morelos A88 introducidos sobre la IRAT Mana, que a su vez posee una base conformada por 15 cultivares *indica* tropicales (Chatel y Guimarães, 1998).

Los resultados obtenidos en la etapa de caracterización de poblaciones permitieron concluir que las características fenotípicas de las poblaciones PCT-6 y PCT-7 se adaptan a las condiciones del cultivo de arroz bajo riego en Venezuela.

Sin embargo, con la introducción de nuevos progenitores de gran adaptación y de diversos orígenes se espera no sólo incrementar la frecuencia de estos genes favorables en las nuevas poblaciones —que es el objetivo fundamental del proyecto— sino también aumentar la probabilidad de identificar individuos que combinen diversas características agronómicas favorables que puedan seleccionarse y desarrollarse como nuevas variedades.

INTRODUCCIÓN DE VARIABILIDAD GENÉTICA

La segunda etapa consistió en formar nuevas poblaciones mediante la introducción de nueva variabilidad a las poblaciones que se seleccionaron en la primera etapa. Los progenitores se escogieron de los Viveros Internacionales de Observación de América Latina (VIOAL) que distribuyó la Red

Internacional de Evaluación Genética de Germoplasma de Arroz (INGER) - América Latina entre 1994 a 1997, y que habían sido evaluados en el programa de mejoramiento de la Fundación Danac.

Criterios de selección de progenitores

Los criterios aplicados fueron los mismos descritos por Chaves (1997) para la escogencia de progenitores en un programa de selección recurrente:

- Poseer características de adaptación a las condiciones para las cuales se mejorarían las nuevas poblaciones. Esta adaptación debía expresarse en rendimiento de granos, calidad molinera y resistencia a piricularia, sogata y al VHB. Se estableció que no necesariamente cada progenitor debía poseer todas las cualidades requeridas pero que en conjunto complementarían las características deseadas.
- Ser lo más divergentes posibles en su base genética, tanto entre ellos como con los progenitores ya incorporados en las poblaciones base seleccionadas. Para ello se estudió detalladamente la genealogía de cada una de las líneas y variedades preseleccionadas.

Progenitores seleccionados

Se seleccionaron cinco progenitores, cuatro de ellos líneas experimentales y una variedad de Venezuela. Los cinco progenitores se introdujeron a la PCT-6 para formar la población PFD-1 y cuatro de ellos a la

PCT-7 para formar la PFD-2. En este último caso se excluyó la variedad Fonaiap 1 ya que es susceptible al daño de sogata y VHB, problemas de importancia en el ciclo de verano. En el Cuadro 4 se identifican los progenitores seleccionados y sus principales características.

Formación de nuevas poblaciones

Para formar las poblaciones se realizaron cruzamientos entre los progenitores seleccionados y plantas androestériles de cada población. La PFD-1 se formó en Venezuela mientras que la PFD-2 se sintetizó en el CIAT, con el apoyo del proyecto colaborativo de selección recurrente del CIAT/CIRAD.

En este capítulo solo se describe el procedimiento realizado para la formación de la PFD-1, que fue similar al realizado con la PFD-2.

Los cruzamientos de la PFD-1 se realizaron en la sede de la Fundación Danac en San Javier, Estado Yaracuy, entre octubre de 1997 y febrero de 1998. Para ello se sembraron 2000 plantas de la población PCT-6\0\0\0 y los cinco progenitores. La población se sembró en una sola fecha mientras que los progenitores en tres fechas distintas: la primera 10 días antes que la PCT-6, la segunda conjuntamente con la población y la tercera, 10 días después. El objetivo de las tres fechas de siembra fue aumentar las probabilidades de coincidencia de floración entre los materiales.

Se realizaron cruzamientos entre cada progenitor y 15 plantas androestériles de la población para un total de 75 cruces. Las plantas androestériles utilizadas fueron de diferentes FI, para evitar sesgos en la nueva población hacia un determinado ciclo. La metodología

Cuadro 4. Identificación y principales características de los progenitores introducidos para la formación de dos nuevas poblaciones de arroz de riego en Venezuela.

Progenitor	Origen	Característica favorable que incorpora	Población donde se introdujo	
			PFD-1	PFD-2
Fonaiap 1	Variedad de Venezuela	Rendimiento de granos, grano largo y fino	Si	No
CT9868-3-2-3-1-4P-M-1-1P	CIAT (VIOAL INGER)	Rendimiento de granos y calidad molinera	Si	Si
CT10310-15-3-2P-4-3	CIAT (VIOAL INGER)	Resistencia al VHB, sogata, piricularia y adaptabilidad	Si	Si
IR62140-48-3-1-2-3	IRRI (VIOAL INGER)	Rendimiento de granos	Si	Si
CT9509-17-3-1-1-M-1-3P-M-1	CIAT (VIOAL INGER)	Resistencia al VHB, sogata y piricularia	Si	Si

de cruzamientos utilizada fue la descrita por Sarkarung (1991) tomando las panículas androestériles y llevándolas al invernadero. Se realizaron cortes a las espiguillas para dejar más expuestos los estigmas y así favorecer la polinización. Al día siguiente, durante las horas de máxima emisión de polen de los padres, se llevaron a polinizar al campo las panículas de las madres. Finalmente, las panículas ya polinizadas se mantuvieron en el invernadero hasta la formación completa de las semillas híbridas de cada cruce. Una vez obtenidas las semillas híbridas (F_1) de cada planta se cosechó manteniendo su individualidad. Por cada panícula se obtuvo entre 15 y 50 semillas.

El siguiente paso fue avanzar cada cruce desde la generación F_1 hasta F_2 entre abril y agosto de 1998. Las plantas F_1 segregaron ya que sus madres eran altamente heterocigotas. Se realizó una evaluación visual del desarrollo de las plantas de cada cruce y de la producción de semillas F_2 con el fin de detectar posible incompatibilidad, la cual no se presentó.

Una vez obtenidas las semillas F_2 se procedió a cosechar de nuevo las semillas por planta y cruce. Se realizó una mezcla en igual proporción de cada planta (5-7 g/planta) dentro de cada cruce y luego de 350 g entre los cruces para obtener así un aproximado de 1.75 kg de semilla de la PFD-1\0\0\0 (sin recombinación). Toda la metodología seguida para la formación de la nueva población

coincide con la descrita por Borrero *et al.* (1997). Se realizaron dos recombinaciones de la población básica entre septiembre de 1998 y junio de 1999. Para ambas se realizaron tres fechas de siembra separadas 12 días una de otra. Se establecieron por transplante 3000 plantas intercalando las distintas fechas de siembra en surcos de 5.0 m de largo separados 0.3 m, con una separación entre plantas de 0.2 m, con el fin de aumentar la probabilidad de coincidencia de floración entre plantas fértiles y androestériles con distinto ciclo de floración. Para la cosecha se tomó semilla individual de 130 a 150 plantas androestériles marcadas por cada fecha de siembra. Luego se mezcló de 5-7 g de semilla por planta para así obtener un *bulk* de cerca de 2.0 kg de semilla de cada fecha. Luego de los dos ciclos de recombinación, se obtuvo la población PFD-1\0\0\2.

MEJORAMIENTO POR SELECCIÓN RECURRENTE Y EXTRACCIÓN DE LÍNEAS

La tercera etapa del proyecto se inició en el ciclo de lluvias de 1999 para la población PFD-1\0\0\2 y en el ciclo de verano 1999-2000 para la población PFD-2\0\0\2. El método de selección recurrente utilizado es el de evaluación de familias. En el caso de la selección para resistencia a piricularia, sogata y VHB, donde existen oligogenes que controlan la resistencia, se hará una mayor presión de selección en los primeros ciclos con el fin de acumular estos genes mayores para luego, en los

siguientes ciclos, mejorar características más complejas como el rendimiento y calidad molinera de los granos.

Tanto las poblaciones S_0 de cada ciclo como las familias $S_{0:2}$ cuando corresponda, se sembrarán en el semestre para el cual se está mejorando cada población, es decir, el ciclo de lluvias para la PFD-1 y el ciclo de verano para la PFD-2. Así se podrá realizar una mejor selección bajo condiciones naturales para los problemas bióticos y abióticos que inciden con mayor importancia en cada uno de los semestres.

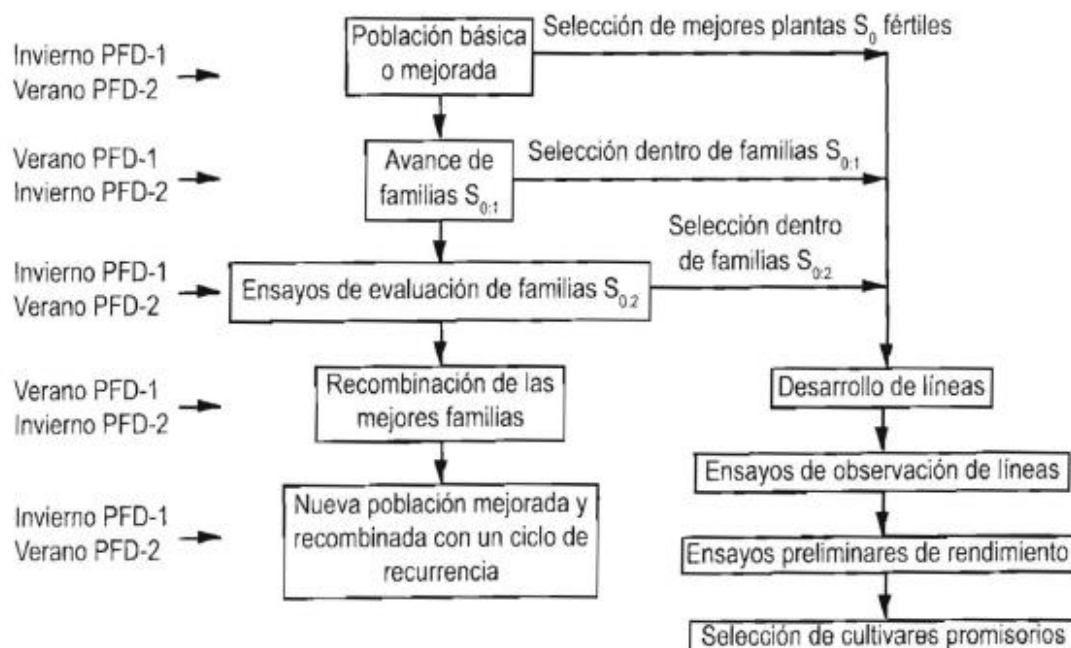
Además de las evaluaciones de campo, se realizarán otras en condiciones controladas de resistencia a piricularia (PFD-1) y a sogata y al VHB (PFD-2) para

disminuir los escapes que ocurren en forma natural en el campo. Las evaluaciones de las familias $S_{0:2}$ se realizarán en ensayos de campo en distintas localidades de los Llanos Centrales y Occidentales de Venezuela.

En la Figura 4 se presenta un esquema general del plan de trabajo para el mejoramiento de las dos poblaciones.

Con el fin de obtener nuevos cultivares durante todo el proceso de mejoramiento poblacional se realizará la extracción de líneas para incorporarlas al programa de evaluación y selección. Para ello se tomarán plantas fértiles en las poblaciones y/o familias $S_{0:1}$ y $S_{0:2}$ desarrolladas para la evaluación de progenies. Con esta estrategia se

Figura 4. Esquema de trabajo para el mejoramiento de las poblaciones y la extracción de líneas del proyecto de mejoramiento poblacional mediante selección recurrente en arroz de la Fundación Danac en Venezuela.



desarrollará, en forma paralela, el trabajo de mejoramiento y la evaluación de líneas.

Se espera que a medida que avancen los ciclos de selección las líneas que se obtengan posean mayor potencial de rendimiento de granos, calidad y resistencia, producto de la mayor frecuencia de los genes que determinan estas características y una mayor base genética que los cultivares obtenidos en los métodos convencionales.

CONCLUSIONES

Cumplidas las dos primeras etapas del proyecto de mejoramiento poblacional de arroz mediante la selección recurrente en Venezuela se puede concluir lo siguiente:

- La caracterización de poblaciones y acervos genéticos introducidos con el fin de escoger las que sirvieron de base para formar las nuevas poblaciones permitió seleccionar las más adaptadas para los objetivos del programa.
- La selección de los progenitores para introducción de variabilidad a las nuevas poblaciones se facilitó debido al cúmulo de evaluaciones que existían en el programa convencional de mejoramiento. Esta información, junto con el estudio de la base genética, fueron criterios suficientes para su selección.
- El manejo de dos poblaciones en forma simultánea es una estrategia que se adapta

fácilmente a las características del programa de la Fundación Danac: se puede avanzar el proceso de mejoramiento sin concentrar las labores debido a la alternancia de los ciclos del cultivo y las etapas de selección entre la PFD-1 y la PFD-2.

- El proyecto de mejoramiento poblacional se plantea como una estrategia de mejoramiento de mediano a largo plazo que no sustituye el programa convencional sino que lo complementa, al mejorar poblaciones de las cuales se derivarán nuevas líneas a los ensayos de evaluación y selección de cultivares. Tal estrategia contribuirá a explorar una mayor base genética y a aumentar el potencial de rendimiento de los nuevos cultivares, lo que será de gran impacto para el mejoramiento de la producción de arroz en Venezuela.

AGRADECIMIENTOS

El Programa de Arroz de la Fundación para la Investigación Agrícola Danac, expresa su agradecimiento a los siguientes investigadores por sus valiosas contribuciones durante el desarrollo del proyecto:

- Dr. Elcio P. Guimarães, Embrapa Arroz e Feijão, Brasil.
- Dr. Marc Chatel, CIRAD, Francia.
- Ings. Jaime Borrero y Yolima Ospina, CIAT, Colombia.

REFERENCIAS

- Borrero, J.; Ospina, Y.; Guimarães, E. P.; y Chatel, M. 1997. Ampliación de la base genética de los acervos de arroz, mediante la introducción de variabilidad. En: Guimarães, E. P. (ed.). Selección recurrente en arroz. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 55-66.
- Chatel, M. y Guimarães, E. P. 1995. Selección recurrente con androesterilidad en arroz. Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement-Département des cultures annuelles (CIRAD-CA) y Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 70 p.
- Chatel, M. y Guimarães, E. P. 1997. Selección recurrente en arroz en África y Madagascar: Estado actual y progreso. En: Guimarães, E. P. (ed.). Selección recurrente en arroz. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 151-162.
- Chatel, M.; Guimarães, E. P.; Ospina, Y.; y Borrero, J. 1997. Utilización de acervos genéticos y poblaciones de arroz de secano que segregan para un gen de androesterilidad. En: Guimarães, E. P. (ed.). Selección recurrente en arroz. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 125-138.
- Chatel, M. y Guimarães, E. P. 1998. Catalogue registration to manage rice gene pools and populations improvement. 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. CIRAD/CIAT. Mimeografiado. 62 p.
- Chaves, L. J. 1997. Criterios para escoger progenitores para un programa de selección recurrente. En: Guimarães, E. P. (ed.). Selección recurrente en arroz. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 13-24.
- 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.
- Ikehashi, H. y Fujimaki, H. 1980. Modified bulk population method for rice breeding. En: Innovative approaches to rice breeding. Selected papers from the 1979 International Rice Research Conference. International Rice Research Institute (IRRI), Los Baños, Philippines. p. 163-182.
- IRRI (International Rice Research Institute). 1988. Standard evaluation system for rice. 3a. ed. Los Baños, Philippines. 54 p.

- Martínez, C. P.; Lentini, Z.; Chatel, M.; González, D. I.; y Mojica, D. 1997. Uso de la selección recurrente en combinación con el cultivo de anteras en el Programa de Arroz de Riego del CIAT. En: Guimarães, E. P. (ed.). Selección recurrente en arroz. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 139-149.
- Martínez, C. P. 1998. Situación actual del cultivo del arroz en Venezuela. Fundación Polar, 1a. ed. Caracas, Venezuela. 179 p.
- Sarkarung, S. 1991. A simplified crossing method for rice breeding: A manual. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 32 p.