

Capítulo 8

Selección Recurrente en Arroz de Secano en Brasil



Emílio da M. de Castro

Orlando P. de Moraes, Emílio da M. de Castro y Evaldo P. de Sant'Ana

Investigadores del Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAF) de la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Caixa Postal 179, 74001-970 Goiânia, Goiás, Brasil

Contenido

Introducción

Selección Recurrente

Elección de los progenitores

Formación de las poblaciones base

Implementación de la selección

Resultados experimentales

Planes para el Futuro

Referencias

Introducción

Las primeras iniciativas para la utilización de la selección recurrente en arroz de secano, en Brasil, comenzaron en 1984. Al empezar EMBRAPA-CNPAF su programa de arroz híbrido, conjuntamente con el Institut de recherches agronomiques et des cultures vivrières (IRAT), desarrollaron una actividad de mejoramiento poblacional, por medio de la selección recurrente. El objetivo fue crear poblaciones con la capacidad de proveer líneas apropiadas para la obtención de híbridos.

La población creada para las condiciones de secano fue la CNA-IRAT 5, originaria del intercruzamiento de 27 líneas, siendo 26 de ellas de origen japónica y una índica. Esta última, obtenida por Singh e Ikehashi (1981), es una línea mutante de la variedad de riego IR36, que tiene en su genoma un gen recesivo; cuando se encuentra en homocigosis, este gen condiciona la androesterilidad genética. El listado de todos los progenitores de esa población y sus respectivas participaciones relativas se encuentran en Taillebois y Guimarães (1989).

De manera independiente, la población CNA-IRAT 5 ha sido sometida a la selección para rendimiento (Veillet y Neves, 1993), resistencia a piricularia (Filippi et al., 1994; Veillet y Filippi, 1993), resistencia a la sequía y calidad de grano. Aunque en todos esos casos se ha informado de progresos significativos, las poblaciones mejoradas derivadas de esos procesos se presentan poco promisorias como fuente inmediata de líneas con características comerciales. Eso se debe a que la estrategia de selección utilizada no estuvo dirigida simultáneamente a todas las características de interés.

Básicamente, con excepción de las actividades de selección recurrente mencionadas anteriormente, el programa de mejoramiento de arroz de secano desarrollado en EMBRAPA-CNPAF estuvo utilizando, hasta 1992, un proceso de mejoramiento basado en la obtención y evaluación de líneas mejoradas por pedigrí o por el método masal modificado. Este programa cumplió con la demanda cada vez mayor de los agricultores, por cultivares mejorados. Sin embargo, se eliminaron sistemáticamente numerosas líneas en diferentes niveles de heterocigosis, que no poseían todas las características requeridas, pero que aún así mostraban progresos en relación con varias de ellas. Esas líneas muy raramente se utilizaban como progenitores para la generación de nuevas poblaciones base. Morais (1995) describe en detalle las consecuencias de esa estrategia tradicional de mejoramiento de las autógamias, haciendo énfasis en sus efectos negativos sobre los niveles de recombinación génica, el aporte de nueva variabilidad útil y la restricción de la base genética del conjunto génico bajo exploración.

Una de las consecuencias de la baja utilización de líneas generadas por el propio programa de mejoramiento, en los cruzamientos, ha sido el empleo de los mismos progenitores convencionales, año tras año. Este comportamiento hace que se desarrollen poblaciones base que no representan frutos del esfuerzo realizado en el ciclo anterior. En este caso, las poblaciones desarrolladas por medio de los cruzamientos en los sucesivos ciclos de selección se vuelven poco contrastantes, y las diferencias entre ellas no se pueden considerar como ganancias generadas en las selecciones que se hicieron.

Como ejemplo, de los 47 progenitores utilizados en los

cruzamientos de 1990/91, en EMBRAPA-CNPAP, solamente dos fueron seleccionados en 1989/90; uno en 1988/89; cuatro en 1987/88; cuatro en 1986/87 y 36 (76.6%) antes de 1987. Varios de tales progenitores fueron variedades tradicionales como Dourado Precoce, Tres Marias, IAC 164, Basmati 370, Cabaçu, Arroz Preto, Pérola, IAC 25, Bico Ganga, etc., invariablemente presentes en cruzamientos en los años anteriores.

Selección Recurrente

Una vez identificada la necesidad de reorientar el programa, para buscar que una determinada fase se beneficie de los progresos obtenidos en las fases anteriores, y generar con ello poblaciones sucesivamente mejores y cada vez con mayor potencial para su utilización como fuente de extracción de líneas, se decidió reestructurarlo. La estrategia consistió en concentrarse en un esquema básico de selección recurrente intrapoblacional.

Elección de los progenitores

La elección de los progenitores depende de los objetivos del programa, que varían de acuerdo con los ecosistemas del cultivo. En Brasil hay dos ecosistemas bien caracterizados (Sant'Ana, 1985): el de secano y el de secano favorecido (abreviados de ahora en adelante como S y SF, respectivamente).

En el primer caso (S), es frecuente la ocurrencia de problemas como la deficiencia hídrica y la pircularia. En el segundo (SF), existe una pequeña probabilidad de sequía y, en general, se observa la incidencia de manchado de grano y también de pircularia. En ambos casos, la calidad de grano (tipo largo y delgado, translúcido, con alto rendimiento de molino y contenido intermedio de amilosa), la producción

de grano y la resistencia al volcamiento son características deseadas. Para la condición S, la precocidad constituye otra característica deseada, especialmente por condicionar mayor frecuencia de escape a la sequía.

Para la formación de las poblaciones base, los progenitores se escogieron considerando las características prioritarias para el programa, preferentemente entre los cultivares comerciales y líneas élite disponibles. Por la necesidad de ampliar el conjunto génico de las poblaciones, otros progenitores se extrajeron del grupo de líneas de las diversas generaciones segregantes y de las introducciones. Se evitó en esta fase la inclusión de variedades primitivas o silvestres, excepto en algunos casos especiales en que se buscaba resistencia a pircularia y a la sequía.

Formación de las poblaciones base

Siendo el objetivo la selección simultánea para varias características de interés, se establecieron cuatro poblaciones de las cuales dos eran para las condiciones S (CG1 y CNA 6) y dos para las condiciones SF (CG2 y CNA 10). Las poblaciones CNA 6 (Cuadro 1) y CNA 10 (Cuadro 2) se sintetizaron introduciendo nuevos progenitores en la población CNA-IRAT 5, por medio de mezcla no dirigida, conforme lo descrito por Chatel y Guimarães (1995). La CG1 y la CG2 se desarrollaron por medio de cruzamientos manuales. La CG2 está aún sujeta a variación en su composición final, mas la CG1 tiene su constitución definida. Como ejemplo, se describe el proceso de su formación.

Inicialmente se decidió que la CG1 debería ser precoz y que entre sus progenitores debería haber fuentes de resistencia a pircularia y a la sequía y, además, buena calidad de grano. Fue

posible relacionar 19 progenitores (Cuadro 3) que llenaban esos requisitos y que, adicionalmente, estaban poco relacionados genéticamente entre sí. Ante la imposibilidad práctica de realizar un intercrucamiento pleno entre todos los progenitores, se optó por utilizar un esquema de dialelo parcial o circulante, conforme a lo descrito por Cruz y Regazzi (1994), y en el cual cada progenitor se cruzó con otros 12 (Cuadro 4), asegurando igual participación en los cruzamientos para todos los progenitores.

Una vez obtenidas las 114 F₁'s (6x19), se realizaron los cruzamientos dobles. Cada cruzamiento simple se utilizó una vez como padre y una vez como madre, evitando los casos en que un mismo progenitor original fuera involucrado más de una vez en un determinado cruzamiento doble.

Todas las F₁ dobles se sembraron directamente en el campo entre franjas diseminadoras de piricularia, en parcelas de una a dos líneas de 5.0 m de largo, espaciadas a 0.40 m.

Cuadro 1. Composición de la población CNA 6, desarrollada para las condiciones de secano.

Progenitor	Origen	Participación (%)
Río Verde	M 312A/Colombia 1	1.93
Río Paraguai	IAC 47/63-83	1.38
IAC 84-198	IAC 165//IAC 165/PL-9	0.55
IREM 238 (IREM 293-B)	PJ110/IAC 25	0.83
IRAT 10	Lung Sheng/63-104	0.55
CNA 6186	B. Campo/IAC 47//Amarelão/T. M. Branco	0.55
IAC 25R ^a	IAC 1246/D. Precoce	3.47
IRAT 112R ^b	IRAT 13/D. Precoce	3.47
CNA 6710	IREM 293-B/IAC 81-176	1.38
No. 392 Gervex	Cultivar introducida	1.68
Cuttack 4	Cultivar introducida	0.55
Japonês Claro (780169)	Cultivar tradicional - Brasil	1.93
Guaíra (CNA1240)	Cultivar tradicional - Brasil	1.93
Campininho (780191)	Cultivar tradicional - Brasil	1.93
Agulha Branco (CNA6524)	Cultivar tradicional - Brasil	0.61
Japonês (780135)	Cultivar tradicional - Brasil	0.61
Precoce Branco (780029)	Cultivar tradicional - Brasil	1.93
Arroz de Revenda (CNA5584)	Cultivar tradicional - Brasil	1.93
Tres Meses Branco (780353)	Cultivar tradicional - Brasil	1.93
Cana Roxa Ligeiro (780279)	Cultivar tradicional - Brasil	0.56
Pratão Goiano (780336)	Cultivar tradicional - Brasil	0.56
Muruim Ligeiro (780299)	Cultivar tradicional - Brasil	0.56
Vermelho (790044)	Cultivar tradicional - Brasil	0.56
Cem Dias (780177)	Cultivar tradicional - Brasil	0.56
Bico Ganga (CNA 0420)	Cultivar tradicional - Brasil	1.93
Rikuto Norin	Cultivar tradicional - Brasil	0.56
Puteca-GO (780217)	Cultivar tradicional - Brasil	1.38
CNA-IRAT 5/2/1 ^c	Población	62.60

a. Incluye fuentes de resistencia a piricularia de las líneas BG90-2, Tres Marias, Pusur, Ramtulasi, H-5, Dawn, Basmati 370 y Colombia 1.

b. Incluye fuentes de resistencia a piricularia de las líneas T-23, CTG 1516, C 46-15, Carreón y Tetep.

c. La población CNA-IRAT 5/2/1 fue sometida a dos ciclos de selección para tipo de grano y a un ciclo de recombinación. Se utilizaron semillas de S₀ con 25% de androesterilidad.

Selección Recurrente en Arroz de Secano en Brasil

Cuadro 2. Composición de la población CNA 10, desarrollada para las condiciones de secano favorecido.

Progenitor	Origen	Participación (%)
CNA 6843-1	TOx 1010-49-1/IRAT 121//(Col.1 X M 312A)	0.91
CNA 6892	Lebonet/CNAx 1165-1-B-44	0.91
CNA 6895	CICA 8/Quebra Cacho//BG90-2	0.91
CNA 6891 y CNA 7457	CNAx551-1-B-30/BR-IRGA 410	0.91
CNA 7892	L-81-40/Cuiabana	0.91
CNA 7449	Ciwini/IRAT 13//IAC 164	0.91
CNA 7445	TOx 939-107-2-101-1B/(Col. 1 X M 312A)//TOx 1780-2-11P-4	0.91
CNA 7462	TOx 1010-45-1/(Col.1X M 312A)// TOx 1780-21P-3	0.91
CNA 7455	Dawn/CNAx 551-1-B-B	0.91
CNA 6687	TOx 1785-19-18/IAC 164	0.91
CNAx 3031 (5 líneas F ₆)	Guaporé/Lebonet	1.82
CNAx 3025-11-1-1-1	Sagrimão/IRAT 13//Aguilha Caqui	0.91
CNAx 1943-23-1-1-1-1	IRAT 112/Camponi//CNAx 1165-18-44	0.91
CNAx 1964-11-2-1-1-1	CICA 8/Camponi//IAC 164	0.91
CNAx 1947-81-3-1-1	CNA 4175/Metica 1//A 8-204-1	0.91
CNA 6724-1	IRAT 216/IRAT 124//RHS 107-2-1-2TB-1-JM	0.91
CNA 7904	IRAT 216/IRAT 124//RHS 107-2-1-2TB-1-JM	0.91
CNAx 4036-5-1-1	A 8-204-1/Guarani//IRAT 216	0.91
CNAx 4037-26-1-1	CNA 4143/A 8-204-1//Araguaia	0.91
CNA 7690 y CNA 7066	Araguaia/Cuiabana	0.91
CNA 7645	TOx 1010-22-7-18/Colombia 1//IAC 47	0.91
CNA 7127	L 85-11/IRAT 216	0.91
CNA 7119	IAC 164/IRAT 216	0.91
CNA 7914	Mutante de Guarani	0.91
IAC 201	IAC 165/Labelle	0.91
CNA 6710	IREM 293-B/IAC 81-176	0.91
A 8-204-1	Línea del IAPAR	0.91
Mearim	TOm 1-3	0.91
IAC 25 R ^a	IAC 1246/Dourado Precoce	2.73
IRAT 112 R ^b	IRAT 13/Dourado Precoce	2.73
Araguaia Trindade 3-1	Selección en Araguaia	0.91
Rio Verde	M 312A X Colombia 1	0.91
AV.MET.N°30 91/92	Cuiabana/CNAx 784-5	0.91
Lemont	Lebonet//PI133581/CI9881	0.91
Newbonnet	Variedad americana	0.91
CNA IRAT 5/2/1 ^c	Población	63.36

a. Incluye fuentes de resistencia a piricularia de las líneas BG90-2, Tres Marias, Pusur, Ramtulasi, H-5, Dawn, Basmati 370 y Colombia 1.

b. Incluye fuentes de resistencia a piricularia de las líneas T-23, CTG 1516, C 46-15, Carreon y Tetep.

c. La población CNA-IRAT 5/2/1 fue sometida a dos ciclos de selección para tipo de grano y a un ciclo de recombinación. Se utilizaron semillas de S₀ con 25% de androsterilidad.

Cuadro 3. Listado de los progenitores de la población CG1.

Progenitor	Cruzamiento
CNAx 3031-13-B-1-1	Lebonet/Guaporé
CNA 6687	TOx 1785-19-18/IAC 164
Rio Doce	IAC F3-5/Batatais
IAC 25R ^a	IAC 1246/Dourado Precoce
L 90-28	-
A 8-204-1	-
CNA 7013-D	IREM 195/Cuiabana
Newbonnet	-
IAC 84-198	IAC 165//IAC 165/PL-9
Lemont	Lebonet//PI331581/ CI9881
Chorinho-MG	Cultivar tradicional - Brasil
CNA 7455	Dawn/CNAx 551-1-B-30
CNAx 4037-26-1-1	CNA 4143/A 8-204-1// Araguaia
Colombia 1	-
CNA 7914	Mutante de Guarani
IAC 201	IAC 165/Labelle
CNA 7892	L 81-40/Cuiabana
IRAT 112R ^b	IRAT 13/DouradoPrecoce
CNA 6710	IREM 293-B/IAC 81-176

a. Cinco líneas de la variedad IAC 25, con genes de resistencia a piricularia de las líneas BG90-2, Tres Marias, Dawn, Basmati 370 y Pusur.

b. Cinco líneas de la variedad IRAT 112, con genes de resistencia a piricularia de las líneas T-23, CTG 1516, C 46-15, Carreon y Tetep.

El espaciamiento entre plantas en la línea fue de 0.10 m. Por cada nueve parcelas de cruzamiento se intercaló un testigo (la variedad Guarani), con la misma densidad de siembra.

Por medio de evaluaciones visuales, de cada cruzamiento se seleccionaron las cuatro plantas de mejor desempeño general, considerando su productividad, tipo de grano, precocidad, sanidad y arquitectura.

Para cuantificar los resultados de esa selección visual dentro del cruzamiento, en las plantas seleccionadas y en seis plantas tomadas al azar (que podían incluir o no las seleccionadas), se evaluaron las siguientes características: producción de granos, altura de la planta, largo de la panícula, número de panículas por planta, esterilidad, manchado y tipo de grano. En el testigo se evaluaron ocho plantas por parcela.

Los resultados de esas evaluaciones se presentan en el Cuadro 5. Se observó que, a pesar de una cierta

Cuadro 4. Cruzamientos simples (primer intercrucamiento) para el inicio de la formación de la población CG1 (dialelo circulante).

Progenitor ^a	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1		+	+	+	+	+	+												
2			+	+	+	+	+	+											
3				+	+	+	+	+	+										
4					+	+	+	+	+	+									
5						+	+	+	+	+	+								
6							+	+	+	+	+	+							
7								+	+	+	+	+	+						
8									+	+	+	+	+	+					
9										+	+	+	+	+	+				
10											+	+	+	+	+	+			
11												+	+	+	+	+	+		
12													+	+	+	+	+	+	
13														+	+	+	+	+	+
14		+													+	+	+	+	+
15		+	+													+	+	+	+
16		+	+	+													+	+	+
17		+	+	+	+													+	+
18		+	+	+	+	+													+
19		+	+	+	+	+	+												+

a. Los progenitores utilizados en el dialelo circulante son: 1 = CNAx3031-13-B-1-1; 2 = CNA 6687; 3 = Rio Doce; 4 = IAC 25R; 5 = L90-28; 6 = A 8-204-1; 7 = CNA 7013-D; 8 = Newbonnet; 9 = IAC 84-198; 10 = Lemont; 11 = Chorinho-MG; 12 = CNA 7455; 13 = CNAx 4037-26-1-1; 14 = Colombia 1; 15 = CNA 7914; 16 = IAC 201; 17 = CNA 7892; 18 = IRAT 112R; 19 = CNA 6710.

Cuadro 5. Estimaciones de diferentes características en los cruzamientos dobles del segundo intercrucamiento, durante la formación de la CG1^a. Datos obtenidos en EMBRAPA-CNPAF, 1993/94.

Parámetro	Valores por característica ^b						
	ALT (cm)	NPAN (No.)	LPAN (cm)	EST (1-9)	PROD (g/pl)	Gd (1-9)	CG (1-9)
Media pob. original	98.5	5.8	24.7	2.9	12.8	1.5	5.8
Media pob. selec.	102.6	7.8	26.1	2.2	20.7	1.4	5.6
Media Guaraní	99.9	5.4	23.8	1.0	13.8	1.1	7.0
h ² (%)	62.9	44.3	25.2	98.6	24.0	54.9	98.0
Respuesta sel. (%)	-2.6	15.3	6.7	24.1	10.9	6.7	3.4

a. Para el tercer intercrucamiento se seleccionaron cuatro plantas por cruzamiento.

b. ALT = altura de planta; NPAN = número de panículas/planta; LPAN = largo de la panícula; EST = esterilidad de las espiguillas; PROD = producción de granos; Gd = manchado de grano; CG = tipo de grano.

esterilidad en algunos cruzamientos, la población original presentó promedios semejantes a los del testigo Guaraní en cuanto al número y largo de las panículas, y producción de granos. La gran mayoría de los cruzamientos presentó granos más delgados que los del testigo, con alta frecuencia de plantas con granos del tipo largo y delgado en varios de ellos (ejemplos: A 8-204-1/CNA 7013-D//CNAx 4037-26-1-1/CNA 6710; CNA 7013-D/CNAx 4037-26-1-1//CNA 7455/CNA 7892; Newbonnet/Colombia 1//A 8-204-1/CNA 7013-D). Aunque las respuestas a la selección hayan sido estimadas utilizando la heredabilidad en su sentido amplio, con la selección efectuada se espera una significativa reducción en la esterilidad (24.1%); ganancias razonables en el número de panículas por planta (15.3%) y en la producción de granos (10.9%); y ganancias menos expresivas en el largo de la panícula, la resistencia al manchado del grano y el mejoramiento del tipo de grano (Cuadro 5).

En agosto de 1994 se hizo el tercer intercrucamiento en que cada cruzamiento doble, representado por las cuatro plantas seleccionadas, participó apenas una vez como padre y otra vez como madre; se procuró

reducir al máximo la presencia de un mismo progenitor original en cada uno de los cruzamientos múltiples. Con eso se espera que los cruzamientos hayan ocurrido entre los individuos menos emparentados, lo que coloca a la población en su mayor nivel de heterocigosis para favorecer la recombinación génica.

En el transcurso de la formación de la CG1, un número creciente de cruzamientos se consideraron útiles para la extracción de líneas (Cuadro 6), esto es, respectivamente, 36.8%, 68.4% y 89.5% para los cruzamientos simples, dobles y múltiples.

Implementación de la selección

Concretadas las poblaciones, se hicieron planes para mejorarlas utilizando, para el caso de las que son recombinadas por medio de androsterilidad genética, uno o más ciclos iniciales de selección masal basada en la evaluación visual (Figura 1). Para las poblaciones recombinadas manualmente, las selecciones se realizarán con la evaluación de progenies, desde la fase inicial. En este caso, por tratarse de cruzamientos que requieren más

Cuadro 6. Número de cruzamientos considerados promisorios para la extracción de líneas durante tres intercruzamientos de la población CG1.

Intercruzamiento	Cruzamiento (No.)	Cruzamientos útiles	
		No.	%
Primero	114	42	36.8
Segundo	114	78	68.4
Tercero	114	102	89.5

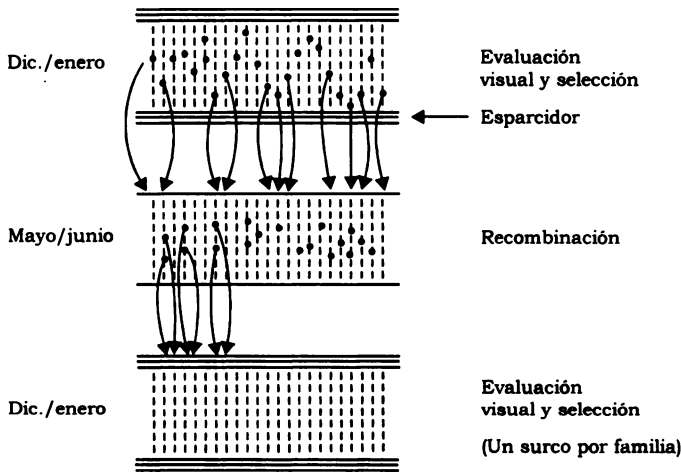


Figura 1. Esquema ilustrativo de las fases de selección masal, basado en la evaluación visual de plantas S_0 fértiles.

recursos para su realización, se deben utilizar unidades de recombinación cuyo comportamiento general sea definido con mayor precisión.

Para todos los casos, los primeros ciclos de selección se están realizando con evaluación solamente en Goiânia (en la base física de EMBRAPA-CNPAP). Posteriormente, cuando se utilicen las progenies $S_{0,2}$, las evaluaciones serán regionalizadas; en la programación están incluidas: a) las localidades de Goiânia-GO (con riegos suplementarios), Lucas do Rio Verde-MT, Vilhena-RO y Rio Branco-AC, para la región favorecida por la distribución y cantidad de las precipitaciones; y b) Goiânia-GO (sin

riego), Rondonópolis-MT, Lavras-MG y Terezina-PI, para la región no favorecida.

En la Figura 2 son visibles las fases del programa de mejoramiento que se deberán utilizar cuando las unidades de evaluación sean progenies o familias $S_{0,2}$. Después de los intercruzamientos, la población S_0 se sembrará directamente en el campo, entre fuentes diseminadoras de piricularia, en baja densidad, para facilitar la evaluación visual de cada planta. Las plantas con reacción de susceptibilidad a la enfermedad serán eliminadas y, en la cosecha, serán seleccionadas las que se presenten promisorias en relación con todas las

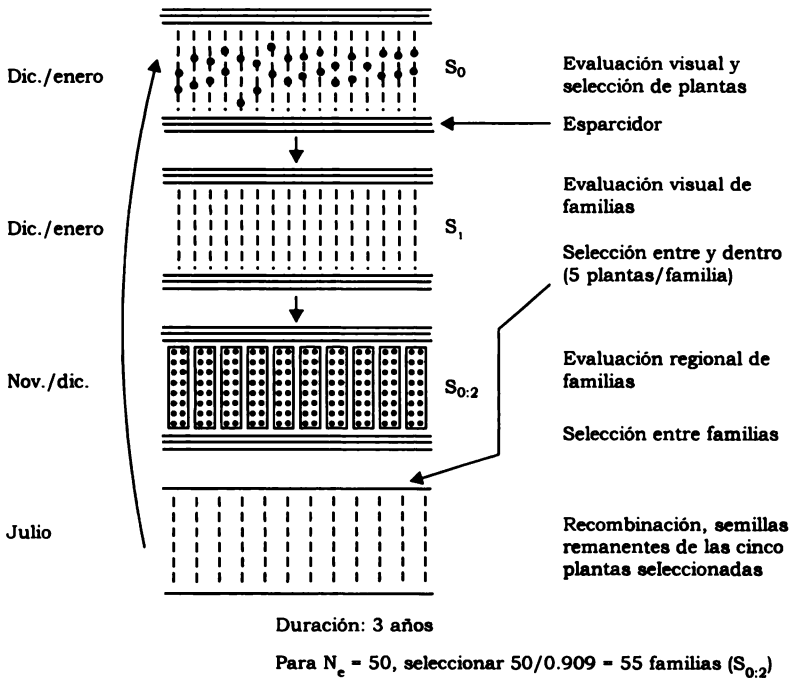


Figura 2. Etapas de las actividades de selección recurrente en arroz, basadas en la evaluación de las familias, o progenies $S_{0:2}$, en desarrollo en EMBRAPA-CNPAF.

características de interés, incluyendo la potencialidad para formar segregantes de mejor aceptación fenotípica en las generaciones posteriores. La siembra más tardía (finales de diciembre o inicio de enero) favorecerá la mayor incidencia de enfermedades, principalmente la piricularia.

En el siguiente año agrícola, las progenies S_1 serán sembradas en parcelas con 200 plantas (cuatro surcos de 5.0 m de largo, espaciadas 0.40 m entre surcos y con 0.10 m entre plantas dentro de los surcos), nuevamente entre fuentes diseminadoras de piricularia y con testigo intercalado. La selección se realizará entre y dentro de las progenies. Se seleccionarán alrededor de 200 a 300 progenies (una a tres progenies por cruzamiento en el caso de la recombinación manual) y de cada una de ellas se almacenarán

muestras de semillas de las cinco plantas de mejor aceptación fenotípica. En el tercer año, las progenies $S_{0:2}$ serán evaluadas en ensayos con repeticiones, en varias localidades, en colaboración con otras instituciones de investigación del país.

Buscando mantener un tamaño efectivo no inferior a 50, se seleccionarán las mejores progenies, basándose en su desempeño general en cuanto a la producción de granos, resistencia a enfermedades, resistencia al vuelco, calidad del grano, resistencia a la sequía (en el caso de las poblaciones para las condiciones S), etc. Las semillas remanentes de las cinco plantas seleccionadas dentro de estas progenies en S_1 serán utilizadas para recombinación, con siembra efectuada en julio a agosto. En enero del siguiente año, las poblaciones mejoradas (recombinadas) se

someterán al nuevo ciclo de selección, que tiene una duración de 3 años.

En el caso de que se hiciera la multiplicación de las progenies S_1 entre semestres de cultivo (siembra en mayo), se podría terminar el ciclo de selección en 2 años. Sin embargo, en ese caso se pierde la oportunidad de realizar la selección entre y dentro de las progenies en esta generación, toda vez que la referida multiplicación se realizaría en condiciones ambientales reconocidamente diferentes de aquéllas encontradas durante el período normal de cultivo. Así, por lo menos durante el tiempo en que se estén observando progresos compensables con la selección en S_1 en los ensayos sin repetición, será utilizado el ciclo de selección en 3 años agrícolas.

Otra manera de compensar, a largo plazo, esa mayor duración del ciclo de selección, consiste en ampliar el conjunto génico bajo mejoramiento. Para eso se están sintetizando dos nuevas poblaciones, una para la condición del cultivo de S (CG3) y otra

para el SF (CNA 7). Como muestra el Cuadro 7, tanto en S como en SF habrá tres poblaciones en proceso de mejoramiento, cada una de ellas en una fase distinta del ciclo de selección.

Aunque para cada población la ganancia anual pueda ser menor, se está mejorando hacia una base genética más amplia; esto garantiza progresos futuros más promisorios, con posibles fusiones de dos o más poblaciones con cierto grado de divergencia, y con promedios para las características de interés ya bastante alteradas en el sentido deseado.

Es oportuno resaltar que, por lo menos en algunos cruzamientos, se espera que la cantidad de progenies S_1 con potencial para la extracción de líneas sea mayor que las incluidas en los ensayos regionales de evaluación de $S_{0.2}$. Por otro lado, algunas progenies incluidas en los ensayos regionales, juzgadas promisorias para fines de mejoramiento de la población, podrán no contener todas

Cuadro 7. Cronograma de la utilización de seis poblaciones de arroz (tres para seco, S, y tres para seco favorecido, SF), buscando el mejoramiento para todas las características de interés.

Año agrícola	Actividades ^a para S			Actividades ^a para SF		
	CG1	CNA6	CG3	CG2	CNA10	CNA7
94/95	Rec/ S_0	S_0 /Rec	Id.Prog	EV	S_0 /Rec	EV/Rec
95/96	S_1	S_0 /Rec	Id.Prog	Rec/ S_0	S_0	S_0 /Rec
96/97	Rec/ S_0	S_0	EV	S_1	S_1	S_0 /Rec
97/98	S_1	S_1	Rec/ S_0	EVR	Rec/ S_0	S_0
98/99	EVR	Rec/ S_0	S_1	Rec/ S_0	S_1	S_1
99/00	Rec/ S_0	S_1	EVR	S_1	EVR	Rec/ S_0
00/01	S_1	EVR	Rec/ S_0	EVR	Rec/ S_0	S_1
01/02	EVR	Rec/ S_0	S_1	Rec/ S_0	S_1	EVR
02/03	Rec/ S_0	S_1	EVR	S_1	EVR	Rec/ S_0

a. Rec/ S_0 = Recombinación en agosto y siembra de la S_0 en enero.

S_1 = Evaluación de S_1 en Goiânia.

EVR = Evaluación regional de progenies $S_{0.2}$ en ensayos con repetición.

S_0 /Rec = Evaluación de la población S_0 en noviembre y recombinación en mayo.

S_0 = Evaluación de la S_0 en noviembre (SF) o enero (S).

Id.Prog = Identificación de progenitores potenciales.

EV = Evaluación en Goiânia.

EV/Rec = Evaluación en noviembre y recombinación en mayo.

las características deseables en un cultivar. De cualquier manera, todas las S_1 , incluidas o no en los ensayos regionales, consideradas promisorias como fuente de líneas serán convenientemente exploradas en las generaciones posteriores, buscando la selección de líneas fijas con las características capaces de atender las demandas de los productores y consumidores de arroz, conforme lo ejemplificado en la Figura 3.

Resultados experimentales

Aunque los trabajos de selección recurrente en arroz de secano son relativamente recientes en Brasil, los primeros resultados muestran la importancia de su utilización. A

continuación se informa sobre algunos resultados obtenidos explorando la población CNA-IRAT 5.

Separadamente, bajo la responsabilidad de dos investigadores, esta población se sometió a dos ciclos de selección recurrente para tipo de grano, con el objetivo de obtener el tipo comercial largo y delgado. En los dos casos se lograron significativas mejorías en la calidad del grano; en la población original, los granos estaban clasificados entre los grados 7 (tipo Rio Paranaíba) y 8 (tipo IRAT 13); actualmente las estimaciones de la media para el tipo de grano están entre 4 (Metica 1) y 5 (Araguaia). Granos de tipo 4 o inferiores se clasifican como del tipo largo y delgado.

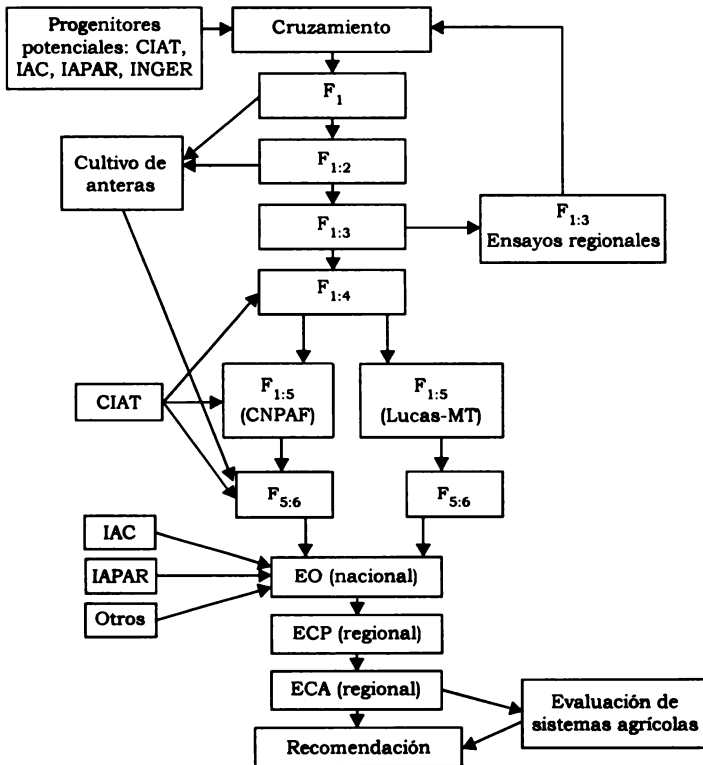


Figura 3. Flujo de las actividades generales de mejoramiento de arroz de secano, en desarrollo en EMBRAPA-CNPAF.

Antes de la fase de recombinación del último ciclo de selección de una de las poblaciones, las progenies S_1 de las 182 plantas seleccionadas se evaluaron, adicionalmente, para producción de granos y otras características de interés, en experimentos conducidos en EMBRAPA-CNPAF. Para la selección se utilizó la metodología del índice clásico de selección de Smith (1936) y Hazel (1943), considerando las varias características evaluadas: producción de granos (PROD); tipo de grano (CG); altura de la planta (ALT); número de días para la floración media (FLOR); resistencia a la sequía en la fase vegetativa (RS); manchado de granos (Gd); pircularia en las hojas (Bl); y pircularia en el cuello de la panícula (NBl). Los resultados obtenidos se encuentran en el Cuadro 8.

Utilizando los coeficientes genéticos (Morais, 1992) de -5, -10, -600, -50, -40, 1, -500 y -1000, respectivamente, para Gd, Bl, NBl, ALT, FLOR, PROD, CG y RS, y una intensidad de selección

correspondiente a 16.6% se obtuvo, para mayor producción de granos, una respuesta esperada de 63.6%. Además de eso se observaron ganancias favorables para todas las características evaluadas, principalmente para manchado de granos (16.2%) y pircularia en las hojas (15.0%).

En los resultados se destaca la mayor respuesta obtenida para producción de granos, ya que se le dio especial importancia a esa característica, y la productividad media de la población correspondió a poco más de la mitad del rendimiento del testigo Rio Paranaíba. Es necesario tener en cuenta que la productividad de la población está siendo afectada negativamente por la presencia del gen de androesterilidad, que se debe expresar en cerca del 25% de las plantas en S_1 .

Con la intensidad de la selección utilizada, se seleccionaron solamente 25 progenies, lo que representa un tamaño efectivo insuficiente para

Cuadro 8. Evaluación de 182 progenies S_1 de la población CNA-IRAT 5/1/1, seleccionadas^a para tipo de grano. Goiânia, 1992/93.

Carácter ^b	Parámetro ^c						
	Mo	a	b	h^2 (%)	Gs (%)	Me	Mt
Gd (1-9)	3.65	-5	-38.79	84.81	-16.16	3.06	2.5
Bl (1-9)	4.01	-10	-22.29	74.60	-14.96	3.41	3.5
NBl (1-9)	2.83	-600	23.08	62.67	-6.01	2.66	2.7
ALT (cm)	8.87	-50	-17.95	76.22	-0.39	88.52	88.0
FLOR (días)	98.68	-40	-11.19	78.56	-0.32	98.36	99.0
PROD (g/0.8 m ²)	105.72	1	3.07	89.14	63.62	172.98	190.0
CG (1-9)	4.83	-500	-138.73	35.75	-1.86	4.74	7.0
RS (1-9)	5.79	-1000	-106.02	29.82	-3.11	5.61	5.5

a. Intensidad de selección correspondiente a 16.6%.

b. Gd = manchado de grano; Bl = pircularia en las hojas; NBl = pircularia en el cuello de la panícula; ALT = altura de la planta; FLOR = floración; PROD = producción de granos; CG = tipo de grano; RS = resistencia a la sequía en la fase vegetativa.

c. Mo = media original; a = vector de coeficientes genéticos utilizados; b = vector de coeficientes fenotípicos estimados; h^2 = heredabilidad; Gs = ganancias de selección esperadas; Me = media esperada de la población mejorada; Mt = media del testigo (Rio Paranaíba).

evitar la pérdida de alelos favorables. Sin embargo, se decidió por esta fuerte presión de selección porque, con anterioridad, se había optado por la unión de las dos subpoblaciones desarrolladas por cada uno de los dos investigadores mencionados anteriormente.

Semillas de las 25 progenies seleccionadas se mezclaron con igual cantidad de semillas de 112 plantas fértiles S_0 , seleccionadas en el segundo ciclo de selección. De esa manera, los posibles genes favorables que se perdieron por la oscilación genética con la selección de las 25 progenies, seguramente serán recuperados con la fusión de las dos subpoblaciones. Otro punto que se debe considerar es que las ganancias observadas en el Cuadro 8 se deben haber reducido a la mitad, con la unión de las 25 progenies seleccionadas, ya que éstas contribuyeron con solamente 50% de los genes de la población final mejorada.

La población CNA-IRAT 5 se ha sometido a selección con el objetivo de mejorar también otras características. Para el caso de líneas doble haploides extraídas de la población y utilizadas como la unidad de evaluación, Veillet y Neves (1993) y Veillet y Filippi (1993)

obtuvieron respuestas a la selección de 42.4% para la producción de granos, y de 14.8% para resistencia a pircularia, utilizando una intensidad de selección correspondiente a 10%.

Filippi et al. (1994), evaluando la respuesta observada en tres ciclos de selección de la CNA-IRAT 9B, derivada de la CNA-IRAT 5, obtuvieron ganancias crecientes para resistencia parcial a pircularia, con el aumento de la variabilidad para resistencia en los sucesivos ciclos de selección.

Planes para el Futuro

La población CNA-IRAT 5 continuará siendo sometida a selección, buscando calidad de grano. Para identificar esa población en proceso de mejoramiento se añadió a su número de origen la sigla GR (grano). Así, la población sembrada en el campo en 1994/95 fue nombrada CNA-IRAT 5GR/2/1, o sea, la CNA-IRAT 5 después de dos ciclos de selección para calidad de grano y con solamente una recombinación después de la última selección. Para mejorar la población CNA-IRAT 5 se le introdujeron seis líneas de grano largo y delgado, después del primer ciclo de selección. Las proporciones de cada uno de los materiales se relacionan en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Resumen de la composición de la población de arroz de secano CNA-IRAT 5GR/2/1.

Progenitor	Cruzamiento	Participación (%)
CNA-IRAT 5	Población ^a	92.50
CNA 6187	IRAT 13/Beira Campo//CNAX 104/Pérola	1.87
Araguaia ^b	IAC 47/TOS2578-7-4-2-3-B2	1.87
CT7756-14-3-2	TOx 1010-22-7-1B/Colombia 1//IAC 47	0.63
CT9438-53-M-8-1	CT6241-16-18-1/CT6278-3-6-2//CT6241-16-18-1	0.63
CNA 6724-1 ^c	IRAT 216/IRAT124//RHS 107-2-1-2TB-1-JM	0.63
CNAX 1235-8-3	IRAT 112/Apura	1.87

a. Ver Taillebois y Guimarães (1989).

b. Dos mutantes, 052287 y 060105, de granos largos y delgados.

c. Selección en CNA 6724 o CT6196-33-11-2-1-B (Progresso).

Con el objetivo de seleccionar para todas las características de interés, se utilizarán las poblaciones del Cuadro 7. La CNA 7 aún será sometida a la introgresión, principalmente de fuentes de precocidad y de calidad de grano. La CG3 aún se encuentra en la fase de desarrollo, con su composición también indefinida. Se espera que a partir de determinada fase, cada población sea mejorada con la selección basada en evaluaciones regionales de progenies $S_{0,2}$.

En vista de las adversidades de naturaleza biótica y abiótica, se buscará mejorar para adaptación regional de las poblaciones; pero antes de eso, todas las poblaciones se mejorarán para características de alta heredabilidad, con evaluaciones realizadas solamente en Goiânia, a nivel de plantas S_0 o de progenies S_1 .

Teniendo en cuenta problemas específicos, se sintetizaron las poblaciones CNA 8 y CNA 9, que se usaron así: la población CNA 8 (Cuadro 10) se destinó a la selección para resistencia a plagas, principalmente a la termita subterránea (*Syntermes molestus*), al mion de las pasturas (*Deois flavopicta*) y a la broca del colo (*Elasmopalpus lignosellus*). La población CNA 9 (Cuadro 11) será mejorada para adaptación específica a suelos con baja disponibilidad de fósforo. Se espera, con eso, desarrollar una base genética diversificada que, en el futuro, podrá servir como excelente fuente de resistencia a los principales estreses de los diferentes ambientes del cultivo del arroz de secano en Brasil.

Las ventajas de la selección recurrente en el aumento de la frecuencia de alelos favorables para mayor producción de granos y/o para otras características deseadas son ampliamente discutidas por Morais

(1995), Fehr (1987), Patterniani y Miranda-Filho (1987) y Hallauer (1985), entre otros. En todos los trabajos se ha demostrado que, a medida que se avanza en los ciclos de selección, se incrementa la probabilidad de identificar individuos superiores en la población.

Durante los sucesivos ciclos de selección será posible detectar la conveniencia de introgresiones de genes en las poblaciones, para cualquiera de las características objeto de selección. Estas introgresiones se podrán realizar durante el proceso de recombinación. Para evaluar las consecuencias de esas introgresiones sobre todas las características bajo selección, cada nueva fuente de genes será cruzada con una muestra de individuos de la población.

Las familias de medio hermanos, resultantes de esos cruces, serán evaluadas juntamente con las progenies $S_{0,2}$ en los ensayos regionales. Con eso será posible evaluar la capacidad general de combinación (CGC) de esos individuos que podrán hacer parte de la población. Si su CGC fue significativa y en el sentido deseado, eso indica que presenta divergencia genética en relación con la población y que puede contribuir con alelos favorables para el mejor desempeño de la población. En este caso, en la recombinación siguiente los nuevos genes serán definitivamente incorporados en la población.

Con estos procedimientos se pretende hacer que la selección recurrente sea un proceso rutinario de mejoramiento de arroz de secano, en el programa de EMBRAPA-CNPAP. El objetivo principal es desarrollar poblaciones cada vez mejores, las cuales serán utilizadas como fuentes para la extracción de líneas para atender la demanda creciente de la sociedad por nuevos cultivares de mejor desempeño general.

Selección Recurrente en Arroz de Secano en Brasil

Cuadro 10. Composición de la población CNA 8 desarrollada para seleccionar por resistencia a plagas (termita, mion, lagarta, elasmó) en EMBRAPA-CNPAF, 1992/93.

Progenitor	Origen	Participación (%)
CNA 4243	DR63-252	0.80
CNA 3674	M 616-15-3-1	0.80
CNA 4078	UPR 82-1-7	0.80
IRAT 146	IRAT 13/Dourado Precoce	0.80
Araguaia Trind 3-1	IAC 47/TOS 2578-7-4-2-3-B2	0.80
CNA 6019	P 3059F4-136-4-10M	0.80
CNA 6037	ITA 315	0.80
CNA 5975	IRAT 216	0.80
CNA 6034	ITA 150 (TOx 502-41-1-1)	0.80
CNA 5761	P 4382F3-15	0.80
CNA 6014	MUT 606-2-6-1	0.80
CNA 5966	IAC 47/SR2041-50-1	0.80
CNA 5985	RAU 4072-13	0.80
CNA 6015	MUT 6509-1-1	0.80
CNA 7141	Catetão Precoce/IAC 150//Araguaia	0.80
Guaraní	IAC 25/63-83	0.80
CNA 7706	IAC 164/IRAT 216	0.80
CNA 7724	IREN 293-B/IAC 81-176	0.80
CNA 7024	IAC 47/IR46282-43-3	0.80
CNA 7680	IRAT 112/IAC 81-176	0.80
CNA 7682	IRAT 112/IAC 81-176	0.80
CNA 6682	TOx 1785-19-18/IAC 164	0.80
IAC 47	IAC 1246/IAC 1391	0.80
CNA 7066	Araguaia/Cuiabana	0.80
CNA 7106	IRAT 112/Makuta 41-1-1	0.80
CNA 6187	IRAT 13/B. Campo//CNAX 104/Pérola	0.80
CNA 7728	IAC 47/TOS 2578/7-4-2-3-B2	0.80
CT7824-2-1-1	TOx 936-81-6-3-IRS-1B/Col.1 x M312A//TOx 1780-2-1-1-1P-4	0.80
IAC 84-198	IAC 165//IAC 165/PI-9	0.80
CNA 3891	BG90-2/Tetep//4440	0.40
A 8-204-1	Línea del IAPAR	0.40
CNA 4243	DR 63-252	0.80
CNA 4140	IAC 47/63-83	0.40
Cuiabana	IAC 47/SR2041-50-1	0.40
CNA 5982	NDR 97	0.80
CNA 6033	ITA 141	0.80
CNA 5342	IRAT 216	0.80
CNA 6043	IR5987-26-1	0.80
CNA 6030	Padi Senemak	0.80
CNA 5982	NDR 97	0.80
CNA 5986	RE352-G-1	0.80
CNA 5996	VL206	0.80
CNA 1402	Iguapão	0.80
CNA 4252	Jhum Sonalichi Kon	0.80
CNA 6587	Maranhão Branco	0.80
CNA 5659	Arroz Ligeiro	0.80
CNA 5303	ITA 130	0.80
CNA 4856	SEM 123	0.80
CNA 0943	CICA 4	0.80
IAC 25R ^a	IAC 1246/Dourado Precoce	1.60
IRAT 112R ^b	IRAT 13/Dourado Precoce	1.60
CNA-IRAT 5/2/1	Población	60.00

a. Mezcla de líneas con genes de resistencia a piricularia, de las líneas BG90-2, Tres Marias, Pusur, Ramtulasi, H-5, Dawn, Basmati 370 y Colombia-1.

b. Mezcla de líneas con genes de resistencia a piricularia, de las líneas T-23, CTG 1516, C 46-15, Carreon y Tetep.

Cuadro 11. Composición de la población CNA 9 desarrollada para seleccionar por adaptación a suelos de baja disponibilidad de fósforo en 1992/93.

Progenitor	Origen	Participación (%)
CNA 4164	IAC 47/IRAT 13	0.70
CNA 4166	IAC 25/63-83	0.31
CNA 4180	IAC 47/IRAT 13	0.70
IRAT 237	RS25/IAC 25	2.00
IR5516-18-1	-	2.80
CNA 5164	IAC 25/63-83	0.31
CNA 5165	IAC 25/63-83	0.31
CNA 5166	IAC 25/63-83	0.31
L 80-67	Linea del IAPAR	2.80
CNAx 511-16-B-5	IAC 47/IRAT 13	0.70
CNAx 093-BM30-BM29P-2	IAC 25/63-83	0.31
CNAx 095-BM30-BM9-4	IAC 25/63-83	0.31
IR3646-8-1-2	-	2.80
CNAx 095-BM30-BMP-28	IAC 25/63-83	0.31
CNA 4136	IAC 25/63-83	0.31
IRAT 144	IRAT 13/IRAT 10	2.80
Cuiabana	IAC 47/SR2041-50-1	2.80
Fernandes	Cultivar tradicional - Brasil	2.80
CNA 4122	IAC 25/63-83	0.31
Rio Paraguai	IAC 47/63-83	0.73
IAC 25 ^a	IAC 1246/Dourado Precoce	5.60
IRAT 112R ^b	IRAT 13/Dourado Precoce	5.60
CNA-IRAT 5/2/1	Población	64.38

a. Mezcla de líneas resistentes a piricularia, con genes de las líneas BG90-2, Tres Marias, Pusur, Dawn, Basmati 370, H-5, Colombia 1 y Ramtulasi.

b. Mezcla de líneas resistentes a piricularia, con genes de las líneas T-23, CTG 1516, C 46-15, Carreon y Tetep.

Referencias

- 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.
- Cruz, C. D. y Regazzi, A. J. 1994. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil. 390 p.
- Fehr, W. R. 1987. Principles of cultivar development, vol. 1: Teoria and technique. MacMillan Publishing, Nueva York. 536 p.
- Filippi, M. C.; Prabhu, A. S.; Neves, P. C. F.; y Nottegehem, J. L. 1994. Eficiência da seleção recorrente sobre a resistência parcial à brusone em arroz de sequeiro. Resumos: Fitopatol. Bras. 19:279 (Suplemento).
- Hallauer, A. R. 1985. Compendium of recurrent selection methods and their application. CRC Crit. Rev. Plant Sci. 3(1):1-34.
- Hazel, L. N. 1943. The genetic basis for constructing selection indexes. Genetics 28:476-490.
- Morais, O. P. de. 1992. Análise multivariada da divergência genética dos progenitores, índices de seleção e seleção combinada numa população de arroz oriunda de inter cruzamento usando macho-esterilidade. Tesis, Doct. Univ. Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil. 251 p.

- _____. 1995. Fatores ecofisiológicos e genéticos que afetam o melhoramento do arroz para maior rendimento. En: Pinheiro, B. da S. y Guimarães, E. P. (eds.). Arroz na América Latina: Perspectivas para o incremento da produção e do potencial produtivo. IX Conferencia Internacional de Arroz para a América Latina e o Caribe y V Reunión Nacional de Pesquisa de Arroz, Goiânia, Goiás, Brasil, 21-25 de marzo de 1994. Documentos, 60. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (EMBRAPA-CNPAP), Goiânia, Brasil. p. 83-91.
- Paterniani, E. y Miranda-Filho, F. B. 1987. Melhoramento de poblaciones. En: Paterniani, E. y Viegas, G. P. (eds.). Melhoramento e produção de milho. Fundação Cargill, Campinas, Brasil. p. 217-274.
- Sant'Ana, E. P. 1985. Melhoramento genético do arroz: II Curso de pesquisa e produção de arroz. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (EMBRAPA/CNPAP), Goiânia, Brasil. 130 p.
- Singh, R.J. e Ikehashi, H. 1981. Monogenic male-sterility in rice: Introduction, identification and inheritance. *Crop Sci.* 21:186-289.
- Smith, H. F. 1936. La discriminant function for plant selection. *Ann. Eugen.* 7:240-250.
- Taillebois, J. y Guimarães, E. P. 1989. CNA-IRAT 5 Upland rice population. *Int. Rice Res. Notes* 14:3.
- Veillet, S. y Filippi, M. C. 1993. Combined genetic analysis of partial blast resistance in rice population and recurrent selection for line and hybrid values. En: Veillet, S. (ed.). *Organization of the genetic variability and recurrent selection in rice (Oryza sativa L.)*. Tesis, Doct. Institut National Agronomique, Paris. p. 27-46.
- _____ y Neves, P. C. F. 1993. Combined genetic analysis of grain yield in upland rice population and recurrent selection for line and hybrid values. En: Veillet, S. (ed.). *Organization of the genetic variability and recurrent selection in rice (Oryza sativa L.)*. Tesis, Doct. Institut National Agronomique, Paris. p. 10-26.