

ISBN 958-9439-56-X

SELECCION
RECURRENTE
EN **ARROZ**
Editor: Elcio P. Guimarães

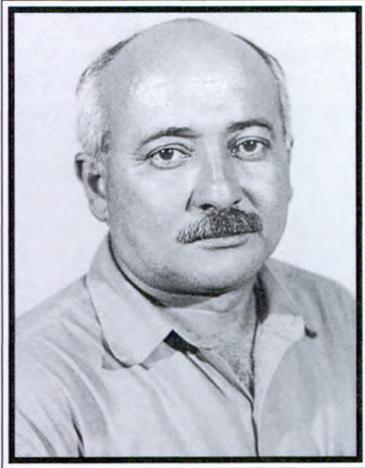


Centre
de coopération
internationale
en recherche
agronomique
pour le
développement
Département
des cultures
annuelles
CIRAD-CA



Capítulo 7

Selección Recurrente Aplicada al Arroz de Riego en Brasil



Paulo Hideo N. Rangel

*Paulo Hideo N. Rangel y
Péricles C. F. Neves*

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

Contenido

Introducción

Bases para la Selección Recurrente

Creación de la población base

Mejoramiento de la población

Extracción de líneas

Desarrollo del Trabajo de Selección Recurrente en Arroz, en Brasil

Resultados de la Investigación

Potencial genético de CNA-IRAT 4/0/3

Aumento del potencial productivo en arroz de riego

Potencial de la población CNA 1 para fines de mejoramiento

Consideraciones Finales

Referencias

Introducción

En Brasil, el rendimiento del arroz de riego se ha incrementado de manera significativa en los últimos 25 años, después del desarrollo de las variedades modernas de porte bajo que impulsó el International Rice Research Institute (IRRI), en la década de los 60 (Jennings et al., 1979). Con la aparición de estos materiales hubo un cambio positivo, no solamente en la filosofía del mejoramiento genético del arroz, sino a nivel de los agricultores, los cuales pasaron a utilizar alta tecnología en el cultivo.

La sustitución de las variedades tradicionales de arroz de porte alto por modernas de porte bajo, que se efectuó en los cultivos, en Brasil, permitió duplicar el rendimiento en algunos estados. En Rio Grande do Sul, el rendimiento se incrementó 30% (Carmona et al., 1994); en Santa Catarina, la combinación de variedades modernas y un mejor manejo del cultivo produjo un incremento del 66% (Ishiy, 1985).

Después de la creación de las variedades modernas de arroz, las ganancias genéticas para rendimiento de grano en cada ciclo de selección se tornaron cada vez más difíciles. En la década de los 80, en Brasil, las ganancias genéticas para rendimiento en arroz de riego, cuando se obtenían, eran de poca magnitud, a pesar de los numerosos cruzamientos que se sometieron a selección (Soares, 1992; Rangel et al., 1992b). Aparentemente, el rendimiento del arroz de riego ha alcanzado un techo, y los esfuerzos para incrementar el potencial productivo de las variedades no ha resultado en ganancias significativas. El aumento en el rendimiento se ha obtenido principalmente mediante la incorporación de resistencia a enfermedades y un mejor manejo del cultivo.

La excesiva estrechez de la base genética que tienen las poblaciones que se usan en mejoramiento, constituye una de las principales limitaciones para la obtención de variedades de arroz de riego con potencial productivo superior al de los cultivares actualmente en uso. Rangel et al. (1996) analizaron la base genética de las variedades que más se utilizan en los estados donde se siembra más arroz de riego, en Brasil (Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Tocantins, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul y São Paulo). Ellos encontraron que la base genética de los cultivares está constituida principalmente por siete ancestrales (Deo Geo Woo Gen, Cina, Lati Sail, I Geo Tze, Mong Chim Vang A, Belle Patna y Tetep), que responden por más del 70% del conjunto génico de las variedades. Se exceptúa el caso de Santa Catarina, donde la contribución genética de ese germoplasma fue de 31%. En Rio Grande do Sul, mayor productor de arroz de riego en Brasil, solamente seis ancestrales (Deo Geo Woo Gen, Cina, Lati Sail, I Geo Tze, Mong Chim Vang A y Belle Patna) contribuyeron con 86% de los genes de las variedades de arroz más sembradas.

La principal consecuencia de la limitación de la diversidad genética es que se reducen las posibilidades de ganancias adicionales en la selección, ya que el fitomejorador trabaja un conjunto génico de tamaño limitado (Hanson, 1959).

Para el desarrollo de líneas, los programas tradicionales de mejoramiento genético de arroz utilizan métodos que maximizan la endogamia. En el procedimiento normal, después de creada una nueva población mediante la hibridización entre progenitores, se obtienen las generaciones segregantes por el proceso natural de autofecundación. El avance en la endogamia con las

generaciones de autopolinización reduce de manera drástica las oportunidades de recombinación, ya que con idénticos alelos en un mismo locus, los procesos de intercruzamiento ('crossing over') se vuelven inefectivos en la producción de nuevos recombinantes.

De esta manera, los métodos convencionales de mejoramiento de arroz presentan menor potencial para la generación de variabilidad y, como consecuencia, se reducen las ganancias genéticas por la selección. Una alternativa sería incrementar las posibilidades de intercruzamientos entre unidades de recombinación. Por lo tanto, para aumentar en el arroz las ganancias genéticas en rendimiento por medio de la selección, una posibilidad es crear poblaciones de base genética más amplia, y trabajarlas utilizando el método de selección recurrente.

Ese método es una técnica de mejoramiento que aumenta la frecuencia de los genotipos favorables en una población, a través de ciclos de selección e intercruzamientos (Ikehashi y Fujimaki, 1980). Es una técnica que se utiliza ampliamente en plantas alógamas; en las autógamias, su uso limitado se debe en parte a la dificultad para hacer cruzamientos para la recombinación en cada ciclo de selección. Con el descubrimiento de la androesterilidad genética en arroz (Singh e Ikehashi, 1981), que hizo posible el intercruzamiento en el campo, la utilización de la selección recurrente se ha convertido en una opción viable en los programas de mejoramiento (Fujimaki, 1979).

La selección recurrente se viene utilizando en Brasil en el mejoramiento de poblaciones de arroz de riego. El objetivo ha sido generar líneas con potencial de rendimiento superior al de las variedades actualmente cultivadas y con características agronómicas

favorables (Rangel, 1992; Rangel et al., 1992a; Rangel, 1995).

Bases para la Selección Recurrente

Creación de la población base

Según Fehr (1987), para la creación de la población base se deben observar tres puntos: a) los progenitores que van a componer la población deben presentar un buen comportamiento per se, para los caracteres que serán mejorados; también deben ser divergentes genéticamente, para maximizar la variabilidad genética; b) se debe utilizar el mayor número posible de progenitores sin comprometer la media de los caracteres de interés y c) realizar un número suficiente de intercruzamientos, que proporcione la recombinación génica y permita que la población entre en equilibrio de ligamento. En arroz, Fujimaki (1979) sugiere tres intercruzamientos en la población base antes de iniciar el proceso de selección.

Como fuente de androesterilidad genética para el desarrollo de las poblaciones base en arroz de riego, se ha utilizado un mutante del cultivar IR36, obtenido mediante mutagénico químico (Singh e Ikehashi, 1981). Este mutante tiene un gen recesivo (*ms*), que en homocigosis (*msms*) produce la esterilidad de los granos de polen. También se utilizaron como fuente de androesterilidad plantas de una población ya existente.

El proceso de creación se caracteriza por una serie de cruzamientos manuales entre los progenitores y la fuente del gen *ms*, seguidos de retrocruzamientos. Estos son necesarios para aumentar la participación de los progenitores

en el conjunto génico y permitir que todos los citoplasmas se hagan presentes en la población. Otra alternativa es cruzar las F_1 con los progenitores de número subsecuente, para adelantar la recombinación como se presenta en la Figura 1.

El resultado de esa etapa de cruces son progenitores fértiles homocigotos (MsMs) o heterocigotos (Msms); por lo tanto, se necesita una generación de autofecundación para restablecer los genotipos androestériles (msms). Esos genotipos, que son de fácil identificación en el momento de la floración, son esenciales para la recombinación en el campo.

Las semillas obtenidas de las autofecundaciones se mezclan para componer la nueva población y se siembran en el campo, lo cual permitirá la polinización cruzada de las plantas androestériles (msms) por las fértiles (MsMs o Msms). Eso corresponde al primer ciclo de recombinación. Después de tres recombinaciones se considera creada la nueva población (Fujimaki, 1979),

cuya composición final se establece en función de la participación porcentual de cada progenitor.

Con el objetivo de utilizar el mejoramiento poblacional como base en el programa nacional de desarrollo de variedades, EMBRAPA-CNPAF ha creado cuatro poblaciones:

1. **CNA-IRAT 4.** Desarrollada de manera colaborativa entre EMBRAPA-CNPAF y el Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, Département des cultures annuelles (CIRAD-CA). Se logró mediante el inter cruzamiento de 10 líneas del Grupo Indica (Cuadro 1), usando nueve variedades como progenitores masculinos en cruzamiento con la IR36 (msms), la fuente de la androesterilidad genética. Las plantas F_1 se retrocruzaron, como progenitores masculinos, con las nueve variedades, de manera que los nueve citoplasmas estuvieron representados en la población. Las semillas F_2 de las plantas

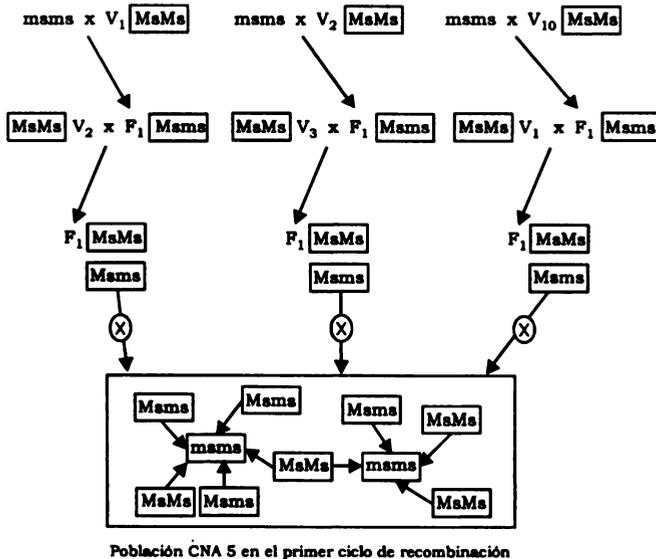


Figura 1. Esquema del desarrollo de la población CNA 5.

Cuadro 1. Progenitores de las líneas componentes de la población CNA-IRAT 4 y sus participaciones relativas.

Línea	Cruce	Participación (%)
BG90-2	IR262/Remadja	8.33
CNA 7	T 141/IR665-1-1-75-3	8.33
CNA 3815	CICA 4/BG90-2//SML 5617	8.33
CNA 3848	IR36/CICA 7//5461	8.33
CNA 3887	BG90-2/Tetep//4440	8.33
Colombia 1	Napal/Takao Iku 18	8.33
Eloni	IR454/SML Kapuri//SML 66410	8.33
Nanicão	Cultivar tradicional - Brasil	8.33
UPR 103.80.1.2	IR24/Cauvery	8.33
IR36 (msms)	Mutante de IR36	25.00

heterocigotas se mezclaron, conformando la población CNA-IRAT 4/0/0. Este germoplasma se sometió a tres ciclos de recombinación, originando la población CNA-IRAT 4/0/3. Posteriormente se le aplicó una selección masal a este material, con el objetivo de obtener 100 familias $S_{0,1}$. Dentro de cada una se escogieron 15 plantas y de éstas las 10 mejores siguieron bajo selección. Las plantas seleccionadas se intercruzaron, para dar origen a la población CNA-IRAT 4/1/1. De esa población se obtuvieron la precoz (CNA-IRAT 4PR) y la de ciclo medio (CNA-IRAT 4ME).

2. **CNA-IRAT P.** También es originaria del trabajo colaborativo entre EMBRAPA-CNPAF y CIRAD-CA. Se intercruzaron plantas androestériles (msms) de la población de arroz de secano (japónica) CNA-IRAT 5/0/2 con 15 líneas de arroz de riego (índica). Las semillas F_2 se mezclaron para formar la CNA-IRAT P/0/0, que sufrió dos recombinaciones y dio origen a la CNA-IRAT P/0/2. El Cuadro 2 presenta los progenitores y la participación relativa de las líneas componentes de la CNA-IRAT P.

3. CNA 1. Esta población fue creada por EMBRAPA-CNPAF, a partir de 70 plantas androestériles precoces, cosechadas en la población CNA-IRAT 4/0/5. Se mezcló igual cantidad de semillas de cada planta para constituir la población. En ese germoplasma se realizó una introgresión de genes de tres nuevos genotipos, dos de ellos fuentes de precocidad (Javaé y CNA 6860) y uno de calidad de grano (Bluebelle). Posteriormente, la población se recombinó originando la CNA 1 (Cuadro 3).

4. CNA 5. Esta población fue creada por EMBRAPA-CNPAF utilizando la población CNA 1; las variedades comerciales Metica 1, BR-IRGA 409 y CICA 8; las fuentes de resistencia múltiple a piricularia y a manchado de granos Colombia 1, IRI 342 y Basmati 370; y las variedades tradicionales de arroz de várzea De Abril, Paga Dívida, Quebra Cacho y Brejeiro. La selección de las variedades tradicionales se hizo mediante estudios de divergencia genética entre cultivares tradicionales de arroz de várzea, utilizando las técnicas de análisis multivariados (Rangel et al., 1991). El Cuadro 4 presenta la constitución final de la población CNA 5.

Cuadro 2. Progenitores de las líneas componentes de la población CNA-IRAT P y sus participaciones relativas.

Línea	Cruce	Participación de las líneas en la población CNA-IRAT P (%)	Participación de las líneas en la población CNA-IRAT 5 (%)
CNA 3762	4440/CICA 7//CICA 4	3.57	-
CNA 5193	-	3.37	-
IR13540-56-3-2	-	3.57	-
CNA 4993	5685//3250/IRAT 8	3.57	-
Dawn	Century Patna 231/ HO12-1-1	3.57	-
IAC 120	Iguape Agulha/Nira	3.57	-
BR-IRGA 409	IR930-2/IR665-31-2-4	3.57	-
IET 4094	-	3.57	-
Metica 1	P 738/P 881//P 738/P 868	3.57	-
CNA 4899	Sigadis/TN1//IR24	3.57	-
CNA 4988	5854//3224/Costa Rica	3.57	-
CNA 4223	IR841/4440//IR36/CICA 7	3.57	-
CNA 3942	IR36/CICA 9//CICA 7	3.57	-
Ciwini	-	3.57	-
CNA-IRAT 5/0/2	Población	50.00	-
Beira Campo	Cultivar tradicional - Brasil	2.69	5.39
CNA 4097	63-83/IAC 25	2.69	5.39
CNA 4145	IAC 47/Kinandong Patong	2.69	5.39
IRAT 177	Mutante de 63-83	2.69	5.39
IREM 41-1-1-4	Mutante de Makouta	2.69	5.39
Palha Murcha	Cultivar tradicional - Brasil	2.69	5.39
TOx 1011-4-2	IRAT 13/DP689//TOx 490-1	2.69	5.39
CNA 5171	IAC 47/IRAT 13	1.34	2.69
Casca Branca	Cultivar tradicional - Brasil	0.42	0.84
CNA 5179	IAC 47/IRAT 13	0.42	0.84
CN770187	Cultivar tradicional - Brasil	0.42	0.84
Comum Crioulo	Cultivar tradicional - Brasil	0.42	0.84
Jaguari	Cultivar tradicional - Brasil	0.42	0.84
L 13	-	0.42	0.84
L 81-24	IAC 2091/Jaguari//IRAT 10	0.42	0.84
Santa América	Cultivar tradicional - Brasil	0.42	0.84
Cuiabana	IAC 47/SR2041-50-1	4.05	8.10
IRAT 237	IAC 25/RS25	3.36	6.73
IAC 165	Dourado Precoce/IAC 1246	1.34	2.69
IREM 247	Mutante de IAC 25	1.25	2.50
IAPAR 9	Batatais/IAC F3-7	0.78	1.57
IRAT 112	Dourado Precoce/IRAT 13	0.73	1.47
CNA 4135	IAC 47/63-83	0.68	1.36
IREM 238	PJ110/IAC 25	0.67	1.35
Arroz de Campo	Cultivar tradicional - Brasil	0.62	1.25
CA435	Cultivar tradicional - Brasil	0.84	0.84
Palawan	Cultivar asiático	6.25	12.50
IR36 (msms)	Mutante de IR36	6.25	12.50

Selección Recurrente Aplicada al Arroz de Riego en Brasil

Cuadro 3. Progenitores de las líneas componentes de la población CNA 1 y sus participaciones relativas.

Línea	Cruce	Participación de las líneas en la población CNA 1 (%)	Participación de las líneas en la población CNA-IRAT 4 (%)
Javaé	P 3085//IR5853-118-5/IR19743-25-2-2-3-1	8.33	-
CNA 6860	Lemont/Q 65101//P 2015-F4-66-B-B	8.33	-
Bluebelle	CI9214//Century Patna/CI9122	8.33	-
CNA-IRAT 4	Población	75.00	-
BG90-2	IR262/Remadja	6.25	8.33
CNA 7	T 141/IR665-1-1-75-3	6.25	8.33
CNA 3815	CICA 4/BG90-2//SML 5617	6.25	8.33
CNA 3848	IR36/CICA 7//5461	6.25	8.33
CNA 3887	BG90-2/Tetep//4440	6.25	8.33
Colombia 1	Napal/Takao Iku 18	6.25	8.33
Eloni	IR454/SML Kapuri//SML 66410	6.25	8.33
Nanicão	Cultivar tradicional - Brasil	6.25	8.33
UPR 103.80.1.2	IR24/Cauvery	6.25	8.33
IR36 (msms)	Mutante de IR36	18.75	25.00

Cuadro 4. Progenitores de las líneas componentes de la población CNA 5 y sus participaciones relativas.

Línea ^a	Cruce	Participación de las líneas en la población CNA 5 (%)	Participación de las líneas en la población CNA 1 (%)
Metica 1	P 738/P 881//P 738/P 868	7.50	-
BR-IRGA 409	IR665-31-2-4/IR930-2	7.50	-
CICA 8	CICA 4//IR 665/Tetep	7.50	-
De Abril	Cultivar tradicional - Brasil	7.50	-
Paga Dívida	Cultivar tradicional - Brasil	7.50	-
Quebra Cacho	Cultivar tradicional - Brasil	7.50	-
Brejeiro	Cultivar tradicional - Brasil	7.50	-
IRI 342	Milyang 23/IR1545	7.50	-
Basmati 370	Cultivar de Paquistán	7.50	-
Colombia 1	Napal/Takao Iku 18	7.50	-
CNA 1	Población	25.00	-
IR36 (msms)*	Mutante de IR36	4.69	18.75
BG90-2*	IR262/Remadja	1.56	6.25
CNA 7*	T 141/IR 665-1-175-3	1.56	6.25
CNA 3815*	CICA 4/BG90-2//SML 5617	1.56	5.25
CNA 3848*	5461//IR36/CICA 7	1.56	6.25
CNA 3887*	4440//BG90-2/Tetep	1.56	6.25
Colombia 1*	Napal/Takao Iku 18	1.56	6.25
Eloni*	IR454/SML Kapuri//SML 66410	1.56	6.25
Nanicão*	Cultivar tradicional - Brasil	1.56	6.25
UPR 103-80-1-2*	IR24/Cauvery	1.56	6.25
Bluebelle*	CI 9214//Century Patna/CT 9122	2.08	8.33
CNA 6860*	Lemont/Q 65101//P 2015	2.08	8.33
Javaé*	P3085//IR5853-118-5/IR19743-25-2-2-3-1	2.08	8.33

a. El asterisco identifica las fuentes de citoplasma presentes en la población.

Mejoramiento de la población

Con excepción de la selección masal, todos los métodos de selección recurrente incluyen tres fases (obtención de líneas, evaluación y selección, y recombinación de las familias), conducidas de manera repetitiva a lo largo de los ciclos de selección. Dos aspectos son fundamentales para maximizar las ganancias en el proceso de selección: a) el muestreo de un número de individuos adecuado para representar la variabilidad de la población y b) ensayos de evaluación adecuados, que permitan identificar las diferencias genéticas entre los individuos analizados.

La metodología que se está utilizando en Brasil para el mejoramiento de poblaciones es la selección recurrente en familias $S_{0:2}$ (Rangel, 1992a), cuyo esquema se presenta en la Figura 2. La secuencia que se utiliza es la siguiente:

1. **Obtención de las familias.** Se hace en el Año 1, en época normal de siembra. Las poblaciones originales, que segregan para 50% de plantas fértiles (Msms) y 50% de plantas androestériles (msms), se siembran para la selección de plantas S_0 fértiles. En esta etapa se cosechan cerca de 250 plantas por población.

2. **Multiplicación de las familias.** Se hace en el Año 1, fuera de la época normal de siembra. Parte

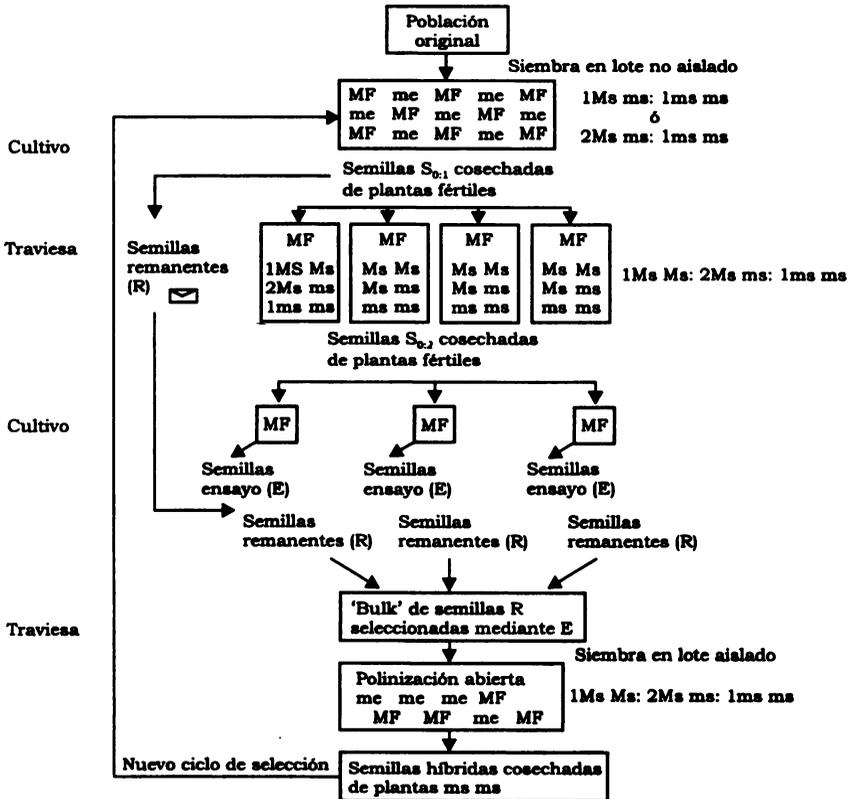


Figura 2. Esquema de selección recurrente en familias $S_{0:2}$.

de las semillas $S_{0.1}$ se almacena, y parte se siembra con el objetivo de aumentar la cantidad de semillas para los ensayos de evaluación de rendimiento. En el momento de la multiplicación se realiza la selección de las 200 mejores familias, teniendo como criterios principales la resistencia a enfermedades y el tipo de grano. Las semillas de las plantas de cada familia se cosechan en forma masal, para constituir las familias $S_{0.2}$. Las familias $S_{0.1}$ (familias originarias de las plantas S_0 que fueron autofecundadas) segregan en la proporción de 75% de plantas fértiles (Ms-) y 25% de plantas androestériles (msms).

3. Evaluación y selección de las familias $S_{0.2}$. Esta, que se realiza en el Año 2 en época normal de siembra, es la etapa más importante de la metodología. Las 200 familias $S_{0.2}$ (familias originarias de las plantas S_0 que fueron autofecundadas dos veces) se someten a evaluación en ensayos, utilizando en ellos los bloques aumentados de Federer (Federer, 1956). La parcela está constituida por tres surcos de 5.0 m de largo, y la selección de las familias superiores se hace sobre la base del rendimiento promedio, la resistencia a enfermedades y el tipo de grano. La intensidad de selección utilizada es de 25%, para garantizar un tamaño efectivo de $N_e = 50$.

Los ensayos se realizan en diferentes localidades bajo la coordinación de las Comisiones Técnicas de Arroz de las Regiones I, II y III (CTArroz I, II y III) (Rangel y Neves, 1995). Las familias $S_{0.2}$ seleccionadas en cada localidad se utilizan para la extracción de líneas para esa localidad específica. Las semillas $S_{0.1}$ remanentes de las familias superiores en las varias localidades dentro de cada región, se mezclan en cantidades iguales para la recombinación.

En la fase de evaluación de las familias se deben considerar dos puntos. El primero de tales puntos es el tamaño efectivo de la población (N_e), o sea, el número de individuos que contribuyen efectivamente con genes para la próxima generación. Este número debe ser tal que permita ganancias por selección a mediano y largo plazos, sin pérdidas considerables de la variabilidad debidas a endogamia y oscilación genética.

Pereira (1980), considerando un modelo aditivo, concluyó que el tamaño efectivo para garantizar el progreso en el proceso selectivo depende de la estructura de la población, y que su valor mínimo debería ser aproximadamente de: $N_e = 40$, para una población de base genética amplia y frecuencia alélica intermedia; $N_e = 25$, para una población ya mejorada, y $N_e = 50$, para una población poco mejorada.

El segundo punto que se debe considerar es la segregación de las familias para el gen de androesterilidad, el cual puede conducir a la subestimación del rendimiento de granos, al enmascarar los resultados de los ensayos de evaluación. Se debe considerar entretanto, que todas las familias están segregando en la misma proporción y que la selección se hace de manera truncada, o sea, se selecciona 25% de las familias más productivas. Además de esto, la tasa de formación de semillas en estas plantas es de cerca de 12%, mientras que en las plantas fértiles, que son la mayoría, está cerca de 100%.

4. Recombinación de las familias seleccionadas. En el Año 2, fuera de la época normal de siembra, se hace la recombinación, utilizando 2100 plantas originarias de las semillas remanentes $S_{0.1}$, mezcladas y sembradas en lote aislado. Para obtener un buen nivel de

recombinación, las plantas se trasplantan en tres épocas (700 plantas/época) espaciadas 7 días una de la otra. Las plantas androestériles se identifican en la floración, y en la maduración se cosechan individualmente sus semillas. De cada planta androestéril se mezclan cantidades iguales de semillas para formar la población de Ciclo 1.

La frecuencia de plantas androestériles en las familias es de gran importancia para que se tenga una buena recombinación. Así, al recombinar familias $S_{0,1}$ se tendrá una proporción de tres plantas fértiles por una androestéril, lo que proporciona, en el campo, una buena frecuencia de plantas estériles. La recombinación de familias en generaciones de autofecundación más avanzada, por ejemplo $S_{0,2}$, hace que haya una reducción en la frecuencia de plantas estériles, lo que puede influenciar negativamente la recombinación.

5. Inicio de un nuevo ciclo de selección. En el Año 3, en época normal de siembra, la población del Ciclo 1 se siembra para la selección de plantas fértiles. Se inicia así el próximo ciclo de selección, que se conduce en la misma forma descrita en los puntos anteriores. Con este esquema, cada ciclo de recurrencia se completa en 2 años.

Extracción de líneas

Simultáneamente con el mejoramiento de la población, se inicia el proceso de extracción de líneas. Esta etapa se basa en los ensayos de evaluación de familias $S_{0,2}$, lo que constituye una evaluación precoz en generaciones segregantes. Se seleccionan las familias que poseen mayores potenciales para lograr los objetivos del programa, haciendo énfasis principalmente en el rendimiento de grano. Las familias se

llevan hasta $S_{5,7}$ por el método genealógico. En la Figura 3 se presenta el esquema para la extracción de líneas en una población que segrega para un gen de androesterilidad. Las etapas son las siguientes:

1. Selección de plantas fértiles.

En el Año 1, período normal de cultivo, las semillas $S_{0,3}$ originarias de las familias $S_{0,2}$ seleccionadas y cosechadas en forma masal en el ensayo de evaluación, se siembran en lote no aislado, para la selección de plantas fértiles.

2. Eliminación del gen de androesterilidad y avance generacional.

En el Año 1, fuera de la época normal de siembra, las semillas de las plantas fértiles cuya constitución genética es MsMs y Msms, se siembran manteniendo la estructura de familia, o sea, que cada planta constituye una familia $S_{3,4}$. Las familias que segregan para el gen de androesterilidad se eliminan, y las que no poseen este gen se cosechan individualmente en masal.

3. Selección. En el Año 2, en época normal de siembra, las familias $S_{3,5}$ se someten a una selección entre y dentro de familias.

4. Avance de generación. En el Año 2, fuera de la época normal de siembra, las familias $S_{5,6}$ se llevan a $S_{5,7}$ y simultáneamente se multiplican semillas para los ensayos de evaluación.

5. Evaluación de las líneas. En el Año 3, en la época normal de siembra se hace la evaluación de las líneas para rendimiento y otras características agronómicas, aprovechando la estructura de evaluación de germoplasma existente en Brasil, o sea, las CTArroz de la Red Nacional de Evaluación de Arroz de Riego (RENAI).

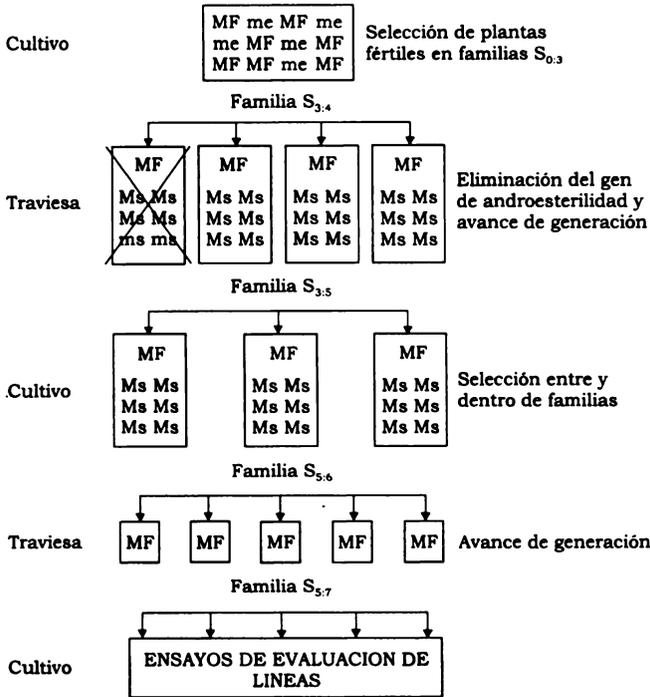


Figura 3. Esquema para la extracción de líneas en poblaciones que segregan para un gen de androesterilidad.

Desarrollo del Trabajo de Selección Recurrente en Arroz, en Brasil

El programa de selección recurrente se inició efectivamente en Brasil en el año agrícola de 1992/93, con la evaluación de 163 familias $S_{0,2}$ de ciclo medio y 163 precoces, las cuales eran originarias de las poblaciones CNA-IRAT 4ME/1/1 y CNA-IRAT 4PR/1/1, respectivamente. Se usaron dos látices triples 10x10 y 8x8 y parcelas de un surco de 2.0 m de largo. Los testigos fueron BR-IRGA 409 en el ensayo precoz y CICA 8 en el ensayo de ciclo medio.

Los ensayos fueron conducidos en la CTArroz II por EMBRAPA-CNPAF en Goiás, por UNITINS (Universidade do Tocantins)/CNPAF/EMBRAPA en Tocantins, por EPAMIG (Empresa de

Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais) en Minas Gerais, y por IAPAR (Instituto Agrônomo do Paraná) en Paraná. En la CTArroz III, los condujo el CPAF/RR (Centro de Pesquisa Agroforestal de Roraima) de EMBRAPA en Roraima.

En la selección de las familias superiores se consideró principalmente la productividad media en las cinco localidades de evaluación, y se utilizó una intensidad de selección de un 30%. La distribución de frecuencias de las familias de ciclo medio evaluadas y seleccionadas para la característica producción de granos se presenta en la Figura 4. La productividad media de las familias evaluadas en las cinco localidades fue de 4298 kg/ha, inferior a la de CICA 8 que fue de 5941 kg/ha. Por otra parte, de las familias seleccionadas, tres rindieron alrededor de 6162 kg/ha, y

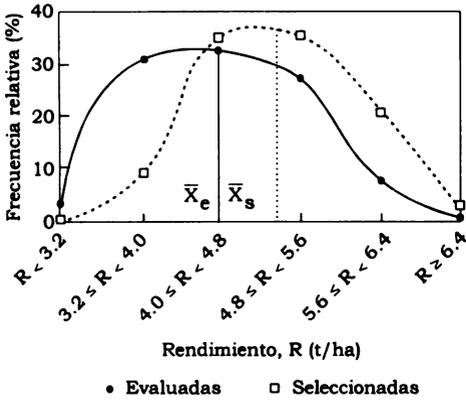


Figura 4. Distribución de frecuencias de las familias S_1 de ciclo medio evaluadas y seleccionadas.

otra familia, con 7800 kg/ha, superó el testigo en aproximadamente 31%. La media de las familias seleccionadas (4919 kg/ha) fue 14% superior a la de las familias evaluadas (4298 kg/ha).

Por su parte, las familias precoces presentaron, en su mayoría (alrededor de un 60%), una productividad media de 4500 a 5000 kg/ha, con un rendimiento medio de 4792 kg/ha (Figura 5). Seis familias produjeron más que el testigo BR-IRGA 409, con 5872 kg/ha. Esto evidencia una ganancia para productividad, incluso superior a la de las familias de ciclo medio, donde solamente una superó el testigo CICA 8.

Las familias superiores en cada localidad se incorporaron al programa de mejoramiento convencional, buscando la extracción de líneas para aquella localidad específica, y las semillas remanentes $S_{0,1}$ de las 50 mejores familias en las cinco localidades se mezclaron en cantidades iguales para la etapa de recombinación.

El programa de selección recurrente está organizado de tal forma que, cada año, las instituciones reciben para la evaluación familias de poblaciones diferentes. Eso impide que el investigador tenga que evaluar

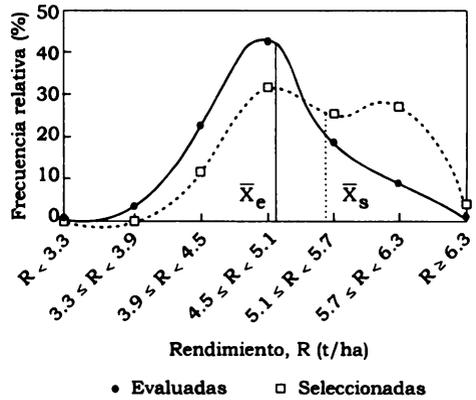


Figura 5. Distribución de las frecuencias de las familias S_1 de ciclo corto evaluadas y seleccionadas.

muchas familias de una sola vez. De esta manera, en el año agrícola de 1993/94 se evaluaron 99 familias $S_{0,2}$ originarias de la población CNA 1. El testigo utilizado fue la BR-IRGA 409 y el diseño experimental el látice triple 10x10. Las parcelas estuvieron conformadas por un surco de 2.0 m de largo.

El ensayo se realizó en la CTArroz I por IRGA (Instituto Riograndense do Arroz) y por EMBRAPA-CPACT (Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado) en Rio Grande do Sul, y por EPAGRI (Empresa de Pesquisa Agropecuária e de Difusão de Tecnologia de Santa Catarina) en Santa Catarina. En la CTArroz II, las instituciones que condujeron el ensayo fueron EMBRAPA-CNPAF, UNITINS/EMBRAPA-CNPAF, EPAMIG e IAPAR. En la CTArroz III lo realizó EMBRAPA-CPAF/RR. Los resultados de las regiones II y III se analizaron en conjunto. La selección de las familias superiores se hizo en cada región, considerando la productividad media en las localidades de evaluación y utilizando una intensidad de selección de 30%.

La distribución de frecuencias de la producción de granos de las

familias evaluadas en la Región I se presenta en la Figura 6. Se observó una amplia segregación para el rendimiento, el cual varió de 2075 a 6663 kg/ha con un promedio de 4807 kg/ha. De las familias seleccionadas (Cuadro 5), tres produjeron más que el testigo BR-IRGA 409 (6226 kg/ha). Hubo un significativo incremento en el promedio de rendimiento de granos, el

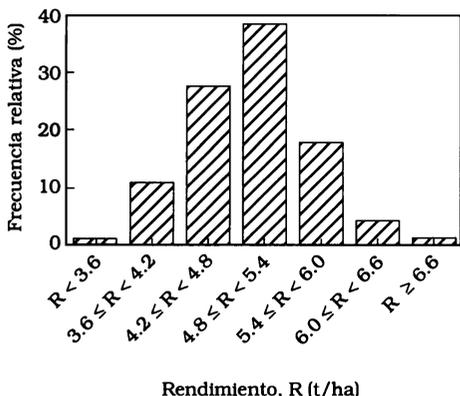


Figura 6. Distribución de frecuencias de las familias S₂ evaluadas en la Región I.

cual pasó de 4807 kg/ha en la población original a 5596 kg/ha en los individuos seleccionados, y proporcionó así un diferencial de productividad cercano al 17%.

En las Regiones II y III, la producción de granos de las familias evaluadas varió de 3397 kg/ha a 7071 kg/ha, con una media de 4979 kg/ha (Figura 7). Como esta

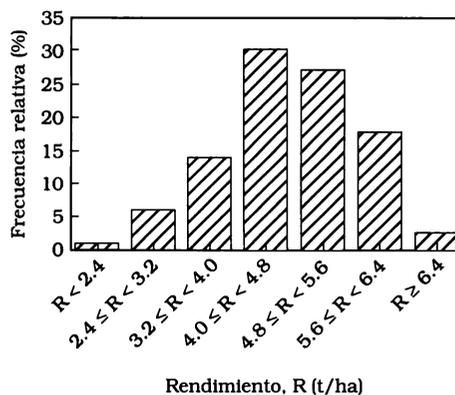


Figura 7. Distribución de frecuencias de las familias S₂ evaluadas en las Regiones II y III.

Cuadro 5. Producción de granos de algunas familias, media de todas las familias seleccionadas (MFSE), media de las familias evaluadas (MFEV) y coeficiente de variación (CV%) de los ensayos de evaluación de familias S_{0.2} originarias de la población CNA 1/0/1RI conducidos por IRGA, EMBRAPA-CPACT y EPAGRI^a en el año agrícola de 1993/94.

Familias S _{0.2} CNA1/0/1RI-	Producción de granos según institución (kg/ha)			
	IRGA	CPACT	EPAGRI	Media
53-B	6966	7268	5882	6663
26-B	7056	6410	6449	6587
58-B	7277	5548	6742	6476
BR-IRGA 409	8897	5502	4386	6226
91-B	7007	6616	5193	6224
97-B	7672	4933	5804	6108
62-B	5563	4571	5113	5031
88-B	7344	2829	4896	4995
86-B	7447	1931	5089	4786
46-B	4047	5999	4522	4780
MFSE	6835	4942	5160	5596
MFEV	6025	4193	4204	4807
CV (%)	24.5	21.4	15.8	-

a. IRGA = Instituto Riograndense do Arroz; EMBRAPA-CPACT = Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado; EPAGRI = Empresa de Pesquisa Agropecuária e de Difusão de Tecnologia de Santa Catarina.

población no se sometió a ninguna selección, en el campo se observó una amplia segregación, inclusive para plantas de porte alto. De esta manera, en la selección de las familias superiores, además de la productividad, se consideró también como criterio de selección la altura de las plantas. El rendimiento medio de las familias seleccionadas fue 10% superior al de las familias evaluadas. De las familias seleccionadas, cuatro produjeron más de los 6000 kg/ha, o sea, más que el testigo BR-IRGA 409, que produjo 5814 kg/ha (Cuadro 6).

Las 30 mejores familias en cada localidad se utilizaron para la extracción de líneas para los respectivos sitios. Las familias superiores en varias localidades dentro de una determinada región se recombinaron buscando mejorar la población para aquella región.

Resultados de la Investigación

Potencial genético de CNA-IRAT 4/0/3

Morais (1992) evaluó 59 familias MIS_{10B} y 60 familias IS_{20B}, obtenidas de la población CNA-IRAT 4/0/3, juntamente con los progenitores; estas familias provienen respectivamente de la cosecha masal de familias de hermanos medios y de familias S₁ típicas. El hizo la evaluación en dos experimentos distintos, conducidos con riego por sumersión. Su objetivo fue evaluar el potencial genético, para fines de mejoramiento, de la población CNA-IRAT 4/0/3 por medio de: a) la evaluación de la divergencia genética de las variedades progenitoras; b) la estimación de los parámetros

Cuadro 6. Producción de granos de algunas familias, media de todas las familias seleccionadas (MFSE), media de las familias evaluadas (MFEV) y coeficiente de variación (CV%) de los ensayos de evaluación de familias S_{0,2} originarias de la población CNA 1/0/1RII conducidos en cuatro lugares por diferentes entidades en el año agrícola de 1993/94.

Familias S _{0,2} CNA 1/0/1RII-	Producción de granos por lugar ^a (kg/ha)				
	MG	GO	TO	RR	Media
23-B	4472	5852	10125	7834	7071
58-B	3027	7091	7333	7557	6252
26-B	2916	6563	7500	7556	6134
02-B	2888	7041	6000	8391	6080
47-B	2583	6645	6583	7835	5912
11-B	3250	5105	8250	7001	5902
75-B	4250	5615	5875	7724	5866
59-B	3444	5676	6750	7557	5857
BR-IRGA 409	3194	6258	7083	6719	5814
12-B	4388	5899	5417	7223	5732
44-B	1972	3911	6875	5890	4662
MFSE	3194	5413	6303	7296	5945
MFEV	3171	4765	5328	6653	4979
CV (%)	34.5	16.0	20.0	14.2	-

a. Lugares y entidades: en Minas Gerais (MG), la Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG); en Goiás (GO), el Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAF); en el Tocantins (TO), la Universidade do Tocantins (UNITINS)/CNPAF; en Roraima (RR), el Centro de Pesquisa Agroflorestal de Roraima (CPAF/RR).

genéticos de la población y c) la obtención de estimaciones de respuestas esperadas a la selección directa, y sobre índices de selección.

En la población estudiada, los componentes de varianza genética no aditiva no presentaron valores importantes para altura de la planta, largo de la panícula y peso de 100 granos. Por otro lado, para los factores producción de granos y número de panículas por planta, se presentó varianza debida a la dominancia descrita como frecuencia génica intermediaria, juntamente con la varianza aditiva, importante como componente de la varianza genotípica.

Utilizando el índice clásico de selección se obtuvieron estimaciones de la respuesta esperada a la selección entre medias de familias IS_{20B} para la producción de granos, de manera similar a la obtenida con la selección directa sobre esta característica. Además, simultáneamente se logró reducir la altura de las plantas, la cual se encontraba positivamente correlacionada con la producción de grano (Cuadro 7).

Cuadro 7. Características de familias IS_{20B}^a en cuanto a las medias originales (MO) y las respuestas esperadas en las medias con la selección basada en el índice clásico (RS_x) y con la selección directa (RS).

Característica ^b	MO	RS_x (%) ^c	RS (%) ^c
PROD (g)	12.55	7.65	7.24
ALT (cm)	92.88	-0.29	1.05
CPan (cm)	22.62	0.25	0.57
NPan (no.)	5.62	2.73	2.48
P100 (g)	2.46	1.39	1.21

a. Población seleccionada: 32 (53.3%) familias IS_{20B} .

b. PROD = producción de grano; ALT = altura de planta; C PAN = largo de la panícula; Npan = número de panículas; P100 = peso de 100 granos. Los coeficientes genéticos fueron: 30 para PROD; -1 para ALT y 0 para Cpan, Npan y P100.

c. Valores en porcentajes de las medias.

Basándose en los datos obtenidos, el autor concluyó que la población CNA-IRAT 4/0/3 se mostró promisoría para el mejoramiento genético, principalmente en términos de mayor productividad, alto macollaje y porte adecuado para las condiciones de cultivo de riego.

Aumento del potencial productivo en arroz de riego

Con el propósito de verificar la posibilidad del uso de la selección recurrente para aumentar el potencial productivo del arroz de riego, Rangel et al. (s.f.) evaluaron, en dos sitios en la región central del Brasil (Goiânia, GO, y Formoso do Araguaia, TO), dos grupos de materiales: 164 precoces y 164 de ciclo medio. La evaluación en cada grupo se hizo en dos látices triples 10x10 y 8x8. De esos materiales, 160 eran familias $S_{0,2}$ (originarias de plantas S_0 que pasaron por dos autofecundaciones), obtenidas de las poblaciones CNA-IRAT 4PR/1/1 y CNA-IRAT 4ME/1/1. Los caracteres evaluados fueron producción de granos, floración, piricularia en la panícula y helmintosporiosis.

Se estimaron varios parámetros genéticos como varianzas genéticas, coeficiente de variación genética, heredabilidad, correlaciones y ganancias esperadas de la selección directa e indirecta en la producción, tomando como base el índice clásico de selección de Smith (1936) y Hazel (1943). Para eso se utilizó una intensidad de selección de 30%.

Las producciones medias de las familias precoces y de las de ciclo medio fueron de 4649 y 4514 kg/ha, respectivamente. Sin embargo, en el grupo precoz seis familias tuvieron producciones superiores a los 6000 kg/ha, mientras que en el grupo de ciclo medio, dos familias superaron los 7000 kg/ha, evidenciando la

posibilidad de cambiar positivamente las medias de las poblaciones mediante la selección recurrente.

Los valores estimados para los coeficientes de variación genética (10% y 11%, para las familias precoces y de ciclo medio, respectivamente) y de las heredabilidades para producción (52% para las familias precoces y 55% para las de ciclo medio), evidenciaron la presencia de suficiente variabilidad genética y la posibilidad de obtener ganancias genéticas para esta característica.

La selección por producción, basada en el índice clásico, se mostró superior a la selección directa, a pesar de que las ganancias de selección obtenidas para rendimiento fueron similares, ya que hubo un incremento de la resistencia a piricularia en la panícula y a helmintosporiosis en las dos poblaciones mejoradas, en relación con las poblaciones originales (Cuadro 8). Los datos obtenidos mostraron que la selección recurrente puede ser eficiente para aumentar la producción de granos en las poblaciones CNA-IRAT 4PR y CNA-IRAT 4ME.

Potencial de la población CNA 1 para fines de mejoramiento

Con el objetivo de evaluar el potencial de la población CNA 1 para fines de mejoramiento, Rodrigues (1995) evaluó 97 familias $S_{0.2}$ (familias originadas de plantas S_0 que pasaron por dos generaciones de autofecundación), juntamente con los testigos BR-IRGA 409, Javaé y CNA 1/0/1, en látice triple 10x10. Se colectaron datos referentes a producción de granos, altura de planta, piricularia en la hoja, floración, número de espiguillas/panícula, porcentaje de granos llenos y peso de 100 semillas.

De las 97 familias evaluadas, siete tuvieron mayor producción de granos en comparación con el testigo Javaé y 11 estuvieron por encima de la BR-IRGA 409. Se puede destacar una familia con rendimiento de 7540 kg/ha, que superó los testigos mencionados en 16% y 38%, respectivamente.

Las ganancias esperadas por selección directa o por el índice clásico de Smith (1936) y Hazel (1943) para la

Cuadro 8. Medias de las poblaciones original (MO) y seleccionada (MS) de familias precoces y de ciclo medio, con respecto a cuatro características evaluadas, y estimaciones de las ganancias por selección directa en la producción e indirecta en las otras características, y la basada en el índice clásico de selección.

Característica ^a	Medias según grupo de población				Ganancias (% de las medias)			
	Precoz		Ciclo medio		Selección		Selección basada en el índice clásico	
	MO	MS	MO	MS	Precoz	Ciclo medio	Precoz	Ciclo medio
PROD (kg/ha)	4649.08	5525.91	4513.68	5346.44	9.79	11.95	9.61	10.11
FLO (días)	97.77	97.57	104.54	107.00	-0.10	0.11	-0.03	1.34
NBI (grado)	4.52	4.62	3.77	3.66	1.17	2.55	-0.25	-1.10
BS (grado)	3.83	3.87	4.08	3.69	0.18	-1.72	-0.39	-4.61

a. PROD = producción de granos; FLO = floración; NBI = piricularia en la panícula; BS = helmintosporiosis. Los coeficientes genéticos de la población son: PROD = 1; FLO = -125, NBI = -750 y BS = -50; los de la población de ciclo medio son: PROD = 1; FLO = -1; NBI = -1000 y BS = 0.

producción de granos fueron de la misma magnitud. Sin embargo, la selección basada en el índice obtuvo respuesta favorable para piricularia en la hoja, evidenciando la posibilidad de incrementar simultáneamente la productividad y la resistencia a esta enfermedad en la población mejorada (Cuadro 9).

Por los datos obtenidos, el autor concluyó que la población CNA 1 se muestra promisoría para el mejoramiento genético con miras al incremento en la productividad.

Consideraciones Finales

En la actualidad, los programas de mejoramiento genético de arroz de riego de todo el mundo buscan aumentar el potencial productivo de las variedades, mediante saltos cuantitativos, similares a los obtenidos en la década de los 60, cuando se liberaron las variedades modernas de arroz de porte bajo, o mediante la obtención de pequeñas ganancias genéticas de naturaleza constante, y acumulativas a lo largo de los años.

El arroz híbrido, desarrollado por los chinos en la década de los 70,

proporcionó un aumento de la productividad en el cultivo cercana al 20%. Sin embargo, ya se está observando una tendencia a la estabilización de esas ganancias, o sea, que ningún híbrido liberado actualmente sobrepasa, en términos de rendimiento, los primeros híbridos recomendados para la siembra.

El IRRI busca desarrollar un nuevo tipo de planta y por medio de él obtener un nuevo salto cuantitativo en el rendimiento. En Brasil se está usando la selección recurrente, en el sentido de elevar el potencial productivo mediante la obtención de ganancias genéticas de menor magnitud, pero constantes y acumulativas a lo largo de los años. Las ganancias genéticas obtenidas en la evaluación de la población CNA-IRAT 4 por Morais (1992) y posteriormente por Rangel et al. (s.f.), con incrementos en promedio de 3.62% y 4.93%, respectivamente, permite concluir que el objetivo propuesto es perfectamente factible, siempre que las poblaciones sean bien manejadas y se mantenga un tamaño efectivo de población adecuado.

Cuadro 9. Estimaciones de la media original (MO), la media de los individuos seleccionados (MIS), la respuesta esperada en cada característica con la selección basada en el índice (RS_x) y la respuesta esperada con la selección directa (RS), utilizando una intensidad de selección del 25%, en la población de arroz CNA 1.

Característica ^a	MO	MIS	RS_x (%)	RS (%)
PROD (kg/ha)	4755.95	6086.13	23.84	23.98
BI (1-9)	1.76	1.75	-0.36	0.45
FLO (días)	92.99	91.44	-1.04	-1.15
ALT (cm)	123.76	116.88	-5.32	-5.01
NE/P (no.)	117.20	119.59	1.00	0.77
GL (%)	67.16	72.39	4.03	3.03
P100 (g)	2.50	2.59	1.13	0.89

a. Características y sus correspondientes coeficientes genéticos: PROD (producción de granos) = 100; BI (piricularia en las hojas) = -500; FLO (floración) = 0; ALT (altura de plantas) = 0; NE/P (número de espiguillas por panícula) = 0; GL (granos llenos) = 0, y P100 (peso de 100 granos) = 0.

Referencias

- Carmona, P. S.; Terres, A. L.; y Schiocchet, M. 1994. Avaliação crítica dos projetos do PNP-Arroz na área de melhoramento genético no período de 1980 a 1990: Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. En: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (EMBRAPA/CNPAF). A pesquisa de arroz no Brasil nos anos 80, avaliação crítica dos principais resultados. Documento 40. Goiânia, GO, Brasil.
- Federer, W. T. 1956. Augmented (or hoonuiaku) designs. *Hawaii. Plant. Rec.* 55:191-208.
- Fehr, W. R. 1987. Principles of cultivar development. MacMillan Publishing, Nueva York. 536 p.
- Fujimaki, H. 1979. Recurrent selection by using genetic male sterility for rice improvement. *Jpn. Agric. Res. Q.* 13(3):153-156.
- Hanson, W. D. 1959. Theoretical distribution of the initial linkage block lengths intact in the gametes of a population intermated for generations. *Genetics* 44:839-846.
- Hazel, L. N. 1943. The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics* 28:476-490.
- 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, Filipinas. p. 163-182.
- Ishiy, T. 1985. O impacto das cultivares modernas de arroz irrigado em Santa Catarina. *Lavoura Arrozeira* 38(359):10-14.
- Jennings, P. R.; Koffman, W. R.; y Kauffman, H. E. 1979. Rice improvement. International Rice Research Institute (IRRI), Los Baños, Filipinas. 186 p.
- Morais, O. P. 1992. Análise multivariada da divergência genética dos progenitores, índices de seleção combinada numa população de arroz oriunda de intercruzamentos usando macho-esterilidade. Tesis, Doct. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil. 251 p.
- Pereira, M. B. 1980. Progresso imediato e fixação de genes em um método de seleção. Tesis, Ms. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, Brasil. 125 p.
- Rangel, P. H. N. 1992. La selección recurrente mejora el arroz brasileño. *Arroz en las Américas* 13(1):4-5.
- _____. 1995. Selección recorrente e híbridos: Alternativas para aumentar o potencial produtivo das variedades de arroz. 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-CNPAF), Goiânia, GO, Brasil. v. 1, p. 37-48.
- _____ y Neves, P. C. F. 1995. Variedades de arroz irrigado liberadas en 1993 para Brasil. En: Red Internacional para la Evaluación Genética del Arroz (INGER) - América Latina. Informe 1994. Cali, Colombia. p. 20-29.
- _____; Cruz, C. D.; Vencovsky, R.; y Ferreira, R. P. 1991. Selection of local lowland rice cultivars based on multivariate genetic divergence. *Brasil. J. Genetic.* 14(2):437-453.
- _____; _____; y Morais, O. P. 1992a. La selección recurrente recombina genes en el arroz de riego. *Arroz en las Américas* 13(2):2-4.
- _____; Zimmermann, F. J. P.; y Neves, P. C. F. 1992b. El CNPAF investiga: ¿Decrece en Brasil el rendimiento del arroz de riego? *Arroz en las Américas* 13(1):2-4.
- _____; _____; _____. s.f. Aumento do potencial produtivo do arroz irrigado através de seleção recorrente. *Pesqui. Agropecu. Bras.* (Aceptado para su publicación.)
- _____; Guimarães, E. P.; y Neves, P. C. F. 1996. Base genética das cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado do Brasil. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 31(5):349-357.

- Rodrigues, R. E. S. 1995. Estimación de parâmetros genéticos e de respostas à seleção na população de arroz irrigado CNA 1. Tesis, Ms. Universidade Federal de Goiás, Faculdade de Agronomia. Goiânia, GO, Brasil.
- Singh, R. J. e Ikehashi, H. I. 1981. Monogenic male sterility in rice: Induction, identificación and inheritance. *Crop Sci.* 21:286-289.

Smith, H. F. 1936. A discriminant function for plant selection. *Ann. Eugenics* 7:240-250.

Soares, A. A. 1992. Desempenho do melhoramento genético do arroz de sequeiro e irrigado na década de oitenta em Minas Gerais. Tesis, Doct. Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, Brasil. 188 p.