

## **Uso de Selección Recurrente en Combinación con Cultivo de Anteras en el Programa de Arroz de Riego del CIAT**



*César P. Martínez*

---

*César P. Martínez<sup>1</sup>, Zaida Lentini<sup>1</sup>,  
Marc Chatel<sup>2</sup>, Daniel González<sup>3</sup> y  
Daniel Mojica<sup>3</sup>*

---

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

### *Contenido*

Introducción

Desarrollo de Poblaciones

Resultados Obtenidos con el Manejo de las Poblaciones

Poblaciones introducidas

WC 232<sup>5</sup>-Early

El cultivo de anteras, una herramienta útil en la evaluación

Otras Posibilidades

Referencias

## Introducción

El Programa de Mejoramiento de Arroz del CIAT se estableció en 1967, y desde entonces ha dependido exclusivamente de los métodos convencionales de pedigrí, masal modificado y, en menor escala, de retrocruzamientos para la obtención de germoplasma mejorado con destino a los distintos ecosistemas encontrados en América Latina. A finales de la década de los 80, el cultivo de anteras se incorporó como una herramienta adicional, y a partir de 1989 se empezó a utilizar el método de selección recurrente como una estrategia de mejoramiento de la población.

El trabajo realizado en mejoramiento varietal dio como resultado aumentos significativos en los rendimientos en fincas de agricultores en América Latina, durante el período 1971-1985; desde entonces se ha observado un estancamiento de los rendimientos comerciales, en varias zonas arroceras de riego en Colombia, Brasil, Ecuador y República Dominicana (CIAT, 1992; Ramírez et al., 1992). Por esta razón se han sugerido nuevas alternativas para aumentar el potencial de rendimiento (Cuevas-Pérez et al., 1992). Aunque se ha argumentado que el potencial de rendimiento del tipo de planta IR8 se ha agotado, variedades recientes lanzadas en Colombia (Gutiérrez et al., 1995) y Uruguay (Blanco et al., 1994) presentan un potencial de rendimiento superior al de las variedades comerciales testigo; eso sugiere que aún es posible lograr aumentos de producción con el germoplasma existente y con los métodos tradicionales de mejoramiento.

Se ha sugerido que los métodos convencionales de mejoramiento, y en especial el de pedigrí, restringen la obtención de nuevas combinaciones

favorables de genes, en contraposición con el uso de sistemas de mejoramiento poblacional en donde tales combinaciones son favorecidas y, más aún, se pueden acumular en forma gradual y predecible (CIAT, 1992). Estos sistemas requieren una buena capacidad para efectuar un sinnúmero de cruzamientos específicos, o la utilización de la esterilidad masculina (Patel et al., 1985). Diferentes métodos de selección recurrente se han utilizado con éxito en el mejoramiento de muchos caracteres en distintos cultivos, tanto autógamos como alógamos (Rose et al., 1992; Reysak et al., 1993) e incluyendo los cereales (Pomeranke y Stuthman, 1992; De Koeber et al., 1993). Solamente en algunos casos el progreso no fue efectivo (Bauske et al., 1994).

Entre los cereales, el arroz es tal vez el cultivo en donde el mejoramiento poblacional mediante la selección recurrente se ha utilizado con menos frecuencia. No obstante, la necesidad de incrementar la variabilidad genética existente entre las variedades mejoradas sembradas comercialmente y la disponibilidad de la esterilidad androgénica han estimulado la utilización de la selección recurrente, en varios programas de mejoramiento de arroz (Chatel y Guimarães, 1993). En este capítulo se discuten la metodología, las poblaciones utilizadas y los resultados obtenidos con la selección recurrente en el Programa de Arroz del CIAT, con énfasis en los sistemas de riego y de secano favorecido.

## Desarrollo de Poblaciones

El proyecto de selección recurrente en arroz tiene como objetivo principal el desarrollo de poblaciones con alto potencial de rendimiento y tolerancia a las principales enfermedades como

piricularia y escaldado de la hoja, para las condiciones de riego y secano favorecido encontradas en América Latina. Para la formación de estas poblaciones se utilizaron los siguientes componentes:

- a. Un grupo de 14 cultivares de origen variado (Cuadro 1), los cuales presentan distintas características en cuanto a su base genética, potencial de rendimiento, ciclo vegetativo, tipo de grano y tolerancia a distintas enfermedades. Se escogieron después de dos ciclos de evaluación en la Estación Experimental del CIAT en Palmira (EEP) y en la Estación Experimental de Santa Rosa (EESR), en Villavicencio (CIAT, 1993).

Los cultivares

B 4353C-KN-7-0-0-2, BG989, PNA 1004-F4-33-1, OR83-23, Perla (Cuba), RP2087-115-10-5-1 y Morelos A 88, que no habían sido utilizados previamente por la Sección de Mejoramiento de Arroz de Riego del Programa de Arroz del CIAT, aportan variedades

tradicionales no relacionadas anteriormente (Cuevas-Pérez et al., 1992). Por lo tanto, representan nuevas fuentes para ampliar la base genética del germoplasma de arroz de riego; entre tales fuentes se pueden mencionar GP15, Bayan G, PTB 33, Hema, Kameji, Shinriki, Mayang Ebos 80, Manasarovar y Seraup Besar. Carolino Gold también forma parte por medio de *Oryzica Turipaná 7*; este cultivar, conjuntamente con la línea CT6741-17-1-5-1, aportan germoplasma de origen africano.

La presión de selección es alta en la EESR, especialmente en términos de enfermedades y baja fertilidad de suelos. Sin embargo, los cultivares B 4353C-KN-7-0-0-2, BG989, BG90-2 y Perla presentaron buen comportamiento y rendimiento, tanto en la EEP (baja presión de selección) como en la EESR. Por otra parte, la evaluación de la tolerancia a los 19 linajes de *Pyricularia grisea* Sacc. encontrados en la EESR y en la altillanura en Colombia indicó

Cuadro 1. Origen de los 14 cultivares utilizados en el proyecto de selección recurrente de arroz de riego.

Línea	Origen	Cruzamiento
B 4353C-KN-7-0-0-2 <sup>a</sup>	Indonesia	B 3063-8*4/Pelita 1-1
CT6241-17-1-5-1	CIAT	Ngovie/Taipei 309// (Col. 1 x M 312A)
BG989 <sup>a</sup>	Sri Lanka	BG573/BG379-2
<i>Oryzica Turipana 7</i>	Colombia	Carolino/TOx 1785-19-18//Col. 1/TOx 1011-4-1
PNA 1004-F4-33-1 <sup>a</sup>	Perú	INTI/BG90-2
P 1274-6-8M-1-3M-1	CIAT	P 1217/P 1232
OR83-23 <sup>a</sup>	India	CO18/Hema
Perla <sup>a</sup>	Cuba	Desconocido
RP2087-115-10-5-1 <sup>a</sup>	India	RP1017-76-1-4-3/Manasarovar
BR-IRGA 410	Brasil	IR930-53/IR665-31-2-4
BG90-2	Sri Lanka	Peta*3/TN1//Remadja
El Paso L-144	Uruguay	IR930-2/IR665-31-2-4
<i>Oryzica 3</i>	Colombia	CICA 7//CICA 8/Pelita 1/1
Morelos A88 <sup>a</sup>	México	C 318Za76-7/C 99Za76-1

a. Nuevas fuentes para ampliar la base genética.

que los cultivares BG989, *Oryzica* Turipaná 7, P 1274-6-8M-1-3M-1, OR83-23 y Perla eran resistentes a todos ellos, mientras que Morelos A88 sólo era susceptible al linaje SRL-1. Una de las características sobresalientes de la línea PNA 1004-F4-33-1 es la de poseer panícula grande, compacta y pesada, con granos largos y delgados. La Morelos A88 también se caracteriza por su buena habilidad combinatoria y panícula grande.

- b. Un grupo de cinco poblaciones desarrolladas conjuntamente o en forma separada por EMBRAPA-CNPAF y CIRAD-CA (Cuadro 2). Estas poblaciones poseen el gen de androesterilidad proveniente de IR36, pero difieren en su constitución genética (Chatel y Guimarães, 1993).
- c. La línea WC 232<sup>5</sup>-Early, portadora de un gen de androesterilidad proveniente de TOx 1011-4-1. Dicho gen fue inducido mediante mutagénesis con Co<sup>60</sup> y, por medio de un programa de retrocruzamiento (Mora, 1991; CIAT, 1993), se transfirió a la línea mejorada de riego CT6047-13-5-3-4-M (IR36/IRAT 120//P 2062-F4-17-33-1). Esta línea se escogió por su buen tipo de planta, buen potencial de rendimiento, buena calidad de

grano y tolerancia a las principales enfermedades producidas por hongos, que atacan el arroz.

Las cinco poblaciones suministradas por el CIRAD-CA (Cuadro 2) se sembraron en la EEP bajo condiciones de riego (trasplante) y se evaluaron en 1993, por su potencial de rendimiento, tipo de planta y de grano, ciclo, vigor y adaptación a las condiciones de riego tropical. Las mejores plantas fértiles en cada población se cosecharon en forma individual y se evaluaron en surco, por su potencial de rendimiento, segregación por androesterilidad y respuesta al cultivo de anteras.

## Resultados Obtenidos con el Manejo de las Poblaciones

### Poblaciones introducidas

La constitución genética y el número de plantas seleccionadas en cada población introducida aparecen en el Cuadro 2. Las observaciones preliminares de estos materiales indicaron que las poblaciones IRAT MANA, IRAT 1/420P y CNA-IRAT 4/2/1 eran las más apropiadas para las condiciones de riego de la zona tropical, en especial la IRAT MANA por su mayor potencial

Cuadro 2. Base genética y número de plantas fértiles que se seleccionaron en el germoplasma desarrollado por CIRAD-CA y EMBRAPA-CNPAF. Estación Experimental del CIAT, Palmira, 1993.

Germoplasma	Base genética	Planta seleccionada (No.)
IRAT MANA	Indica tropical; 15 cultivares	138
IRAT 1/420 P	Indica	86
CNA-IRAT 4/2/1	Indica; 9 cultivares	121
IRAT Med A <sup>a</sup>	Japónica; USA y Europa	79
CNA-IRAT P/1/0F <sup>a</sup>	Indica/japónica; citoplasma japónica	59

a. Germoplasma que presentó mejor respuesta al cultivo de anteras, en términos de regeneración de plantas.

de rendimiento y mejor tipo de planta. Estas poblaciones mostraron buena variabilidad genética en términos de tipo y altura de la planta, floración y grano largo a extralargo. Los mayores inconvenientes observados fueron susceptibilidad al vuelco y plantas muy altas y de bajo macollamiento. Se estimó que, dada su base genética, la población IRAT Med A es más apropiada para las condiciones de riego de la zona subtropical, en tanto que la población CNA-IRAT P/1/OF se descartó por la susceptibilidad a piricularia que mostró en la Estación Experimental La Libertad, localizada en Villavicencio, Colombia.

Por lo tanto, las poblaciones IRAT MANA, IRAT 1/420P y CNA-IRAT 4/2/1 se escogieron para formar las nuevas poblaciones base (Cuadro 3), mediante la incorporación de nuevos progenitores. Se identificaron plantas androestériles en cada una de ellas y se hicieron cruzamientos simples con los cultivares escogidos que se indican en el Cuadro 1. No todos los cultivares se introdujeron en cada población; se seleccionaron teniendo en cuenta las

deficiencias o problemas observados durante la evaluación de cada población. Las poblaciones F<sub>1</sub> que se obtuvieron se evaluaron en la EEP, en el segundo semestre 1994, y las mejores plantas en cada cruzamiento se mezclaron en igual proporción para formar las nuevas poblaciones. El primer ciclo de recombinación y multiplicación de semilla se hará durante 1995.

Por otra parte, de cada una de las poblaciones IRAT MANA, CNA IRAT 4/2/1 y CNA-IRAT P/1/OF se enviaron 200 gramos de semilla a los programas nacionales de arroz del ICTA en Guatemala y del IDIAP en Panamá, donde se evaluaron bajo condiciones de secano favorecido. Las observaciones de campo en Guatemala indicaron que la población CNA-IRAT 4/2/1 fue la mejor, en términos de tolerancia a enfermedades, tipo de planta y de grano y potencial de rendimiento; por esta razón se seleccionó para evaluaciones futuras. Se efectuaron 30 selecciones de plantas fértiles; de las plantas androestériles se cosechó semilla en forma masal.

Cuadro 3. Nuevas poblaciones (pob.) y acervos genéticos (ac. gen.) formados para las condiciones de riego de América Latina.

Pob./ac. gen. inicial	Origen del germoplasma	Nueva pob./ ac. gen.	Cultivar introducido
IRAT MANA	CIRAD-CA	PCT-6	B4353C-KN-7-0-0-2, BG 989, El Paso 144, PNA 1004F4-33-1, Oryzica Llanos 4, OR 83-23, Perla (Cuba), Oryzica 3, Morelos A88, RP 2087-115-10-5-1
IRAT 1/420P	CIRAD-CA	PCT-7	Oryzica 3, B4353C-KN-7-0-0-2, BG 989, PNA 1004F4-33-1, OR 83-23, RP 2087-115-10-5-1
CNA-IRAT 4/2/1	EMBRAPA/ CIRAD-CA	PCT-8	Oryzica 3, Oryzica Llanos 4, BG 989, Perla (Cuba), El Paso 144, B4353C-KN-7-0-0-2
WC 232 <sup>S</sup> -Early (CT 6047-13-5-3-4-M <sup>S</sup> )	CIAT	GPCT-9	B4353C-KN-7-0-0-2, CT 6241-17-1-5-1, BG 989, Oryzica Turipana 7, PNA 1004F4-33-1, 5685, OR 83-23, Perla (Cuba), RP 2087-115-10-5-1, BR IRGA 410, BG 90-2, El Paso 144, Oryzica 3, Morelos A88

### WC 232<sup>5</sup>-Early

La formación del acervo genético GPCT-9 empezó con la identificación de plantas androestériles en la línea WC 232<sup>5</sup>-Early; estas plantas se cruzaron, en forma manual dirigida, con cada uno de los cultivares relacionados en el Cuadro 1. Con el fin de promover la recombinación genética de los distintos caracteres se realizaron cruzamientos dobles (Cuadro 4), aplicando los siguientes criterios, en orden de prioridad: origen geográfico, sistema de producción, ciclo vegetativo y tipo de grano de los progenitores involucrados en los cruces simples.

Las poblaciones F<sub>1</sub> resultantes se evaluaron separadamente, y las mejores plantas se mezclaron en igual proporción para formar el nuevo acervo genético base llamado GPCT-9 (Cuadro 3). Este germoplasma se encuentra en su primer ciclo de recombinación y se utilizará como base para iniciar un programa de selección recurrente por rendimiento, utilizando los siguientes criterios de selección: contenido de nitrógeno en el follaje, duración del periodo de llenado del grano, senescencia de las hojas, número de granos por panícula, peso de 1000 granos e índice de cosecha. Se tomará una muestra del 10% de la población, y las mejores plantas se procesarán por cultivo de anteras; los mejores doble haploides serán recombinados para luego iniciar el siguiente ciclo de recombinación.

### El cultivo de anteras, una herramienta útil en la evaluación

Una de las limitaciones observadas al emplear la selección recurrente en arroz es la dificultad de evaluar efectivamente el potencial de rendimiento de las mejores plantas extraídas de la población. Esto se debe al alto grado de segregación y al número variable de plantas androestériles presente en las progenies. Para obtener líneas homocigotas, las cuales se pueden evaluar con más precisión, serían necesarias varias generaciones de autopolinización y selección; sin embargo, esto alargaría bastante el tiempo requerido para completar un ciclo de selección recurrente.

El cultivo de anteras (CA) se presenta como una alternativa viable, ya que permite la obtención de doble haploides homocigotos. Es una metodología que se ha usado con éxito en cebada (Patel et al., 1985; Foroughi-Wehr y Wenzel, 1990), pero que en el caso del arroz de riego suscita una baja respuesta de los cultivares indica, lo cual representa un factor en contra.

Datos recientes obtenidos en el laboratorio de cultivo de anteras del CIAT (Pérez-Almeida, 1993; Sanint et al., 1995) indican que el CA no sólo constituye una herramienta útil en un programa de mejoramiento, sino que también se puede utilizar con

Cuadro 4. Relación de los cruzamientos dobles realizados para promover la recombinación en el acervo genético GPCT-9.

Progenitor madre		Progenitor padre
WC232 <sup>5</sup> / B 453-C-KN-7-0-0-2	//	WC232 <sup>5</sup> / CT6241-17-1-5-1
WC232 <sup>5</sup> / BG989	//	WC232 <sup>5</sup> / Oryzica Turipaná 7
WC232 <sup>5</sup> / PNA 1004F4-33	//	WC232 <sup>5</sup> / 5685
WC232 <sup>5</sup> / OR83-23	//	WC232 <sup>5</sup> / BR-IRGA 410
WC232 <sup>5</sup> / BG90-2	//	WC232 <sup>5</sup> / El Paso 144
WC232 <sup>5</sup> / Oryzica 3	//	WC232 <sup>5</sup> / Morelos A 88

éxito en un programa de selección recurrente.

Con el fin de estudiar la influencia del citoplasma de la variedad madre en la respuesta al CA se procesaron, por ese método, poblaciones  $F_1$  de 85 cruzamientos seleccionados de la sección de mejoramiento (CIAT, 1994). Los cruzamientos incluyeron distintas combinaciones de progenitores, esto es: 23 cruces de indica x indica, 31 de indica x japónica y 31 de japónica x indica.

El análisis estadístico de ese trabajo (Cuadro 5) mostró que la combinación indica x indica respondió significativamente menos que las combinaciones indica x japónica o viceversa, en términos de inducción de callos, número total de plantas por anteras y número de plantas verdes por anteras. Aun cuando no hubo diferencias significativas, la respuesta fue mejor cuando la madre fue japónica. Los datos sugieren que la inclusión de una variedad japónica en el cruzamiento mejora las posibilidades de éxito del cultivo de anteras.

Los resultados obtenidos en la evaluación de la respuesta al CA (Cuadro 6) de las cinco poblaciones relacionadas en el Cuadro 2 confirman lo anterior; al evaluar las progenies de

258 plantas fértiles seleccionadas, las poblaciones IRAT Med A (japónica) y CNA-IRAT P/1/OF (indica x japónica) respondieron mejor que las de tipo indica, en términos de inducción de callos y regeneración de plantas.

En otro estudio (CIAT, 1994) se confirmó que la respuesta al CA está bajo control genético y que cuando ella es buena se puede transferir a genotipos recalcitrantes. En la  $F_2$  de un cruce entre IR43 (recalcitrante) y Todoroki Wase (japónica, respuesta alta al CA) se recuperaron plantas con tipo de grano indica (largo y delgado) y con 70% de inducción de callos y 90% de regeneración de plantas verdes (Cuadro 7); esto sugiere que los genes que controlan la inducción de callos, la regeneración de plantas y la longitud del grano segregan en forma independiente. Los datos presentados en su conjunto indican que, mediante un programa de selección recurrente, es posible desarrollar poblaciones de tipo indica con la buena respuesta al CA de las japónica.

Del cruce IR43/Todoroki Wase se seleccionaron las mejores plantas  $F_2$ , sobre la base de la longitud del grano y la respuesta al CA, y se sembraron en surcos como líneas  $F_3$ ; al momento de escoger las panículas para pasarlas por CA se seleccionaron aquellas

Cuadro 5. Influencia del citoplasma en la respuesta al cultivo de anteras.

Variable	Valor <sup>a</sup> medio según tipo de cruce <sup>b</sup>			Promedio general	Prob > Chisq <sup>c</sup> H <sub>0</sub> : $\mu_i = \mu_j$
	$\varphi_i \times \sigma_i$	$\varphi_i \times \sigma_j$	$\varphi_j \times \sigma_i$		
Inducción de callos	2.88b	23.72a	34.03a	21.84	0.0001
No. total plantas/callos	17.94	12.34	20.38	16.96	0.3289
No. total plantas/antera	0.48b	4.59a	10.46a	6.44	0.0056
Plantas verdes/ No. total de plantas	45.56	49.32	51.93	50.10	0.8245
Plantas verdes/callos	13.25	6.93	12.33	10.50	0.3730
Plantas verdes/antera	0.23b	2.95a	7.61a	4.53	0.0211

a. Valores con la misma letra no son significativamente diferentes.

b.  $\varphi_i$  = madre indica;  $\varphi_j$  = madre japónica;  $\sigma_j$  = padre japónica;  $\sigma_i$  = padre indica.

c. Nivel de significancia de acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis.

Cuadro 6. Diferencia en la respuesta al cultivo de anteras de cinco poblaciones desarrolladas mediante selección recurrente.

Variable	Valor medio según población <sup>a</sup>					Prob > $X_2^b$ $H_0: \mu_1 = \mu_j$
	1	2	3	4	5	
<b>Medio N6m</b>						
Inducción de callos	1.55	0.24	0.72	15.87	4.83	0.0001
No. total plantas/callos	35.57	20.00	36.98	39.39	40.36	0.7418
No. total plantas/antera	1.59	0.46	2.68	7.38	3.32	0.0001
Plantas verdes/No. total plantas	51.85	91.67	45.00	68.64	64.82	0.3133
Plantas verdes/callos	17.67	17.50	19.00	28.28	33.42	0.2664
Plantas verdes/antera	1.29	0.39	1.21	5.31	2.52	0.0005
<b>Medio NL</b>						
Inducción de callos	9.27	14.35	15.29	38.28	9.47	0.0001
No. total plantas/callos	8.94	16.29	11.62	32.76	20.12	0.0001
No. total plantas/antera	1.12	3.57	3.55	15.36	2.51	0.0001
Plantas verdes/No. total plantas	23.01	37.00	56.22	66.66	72.90	0.0002
Plantas verdes/callos	1.87	13.24	7.36	25.76	16.40	0.0001
Plantas verdes/antera	0.36	1.38	2.21	12.16	1.88	0.0001

a. 1 = IRAT Mana; 2 = IRAT 1/420P; 3 = CNA-IRAT 4/2/1; 4 = IRAT Med A; 5 = CNA-IRAT P/1/OF.

b. Nivel de significancia de acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis.

Cuadro 7. Genotipos que muestran cosegregación de buena respuesta al cultivo de anteras (Todoroki Wase) y tipo de grano indica (IR43).

Genotipo	Promedio y (rango) de los genotipos		
	Callos/antera (%)	Plantas verdes/callos (%)	Longitud de grano (mm)
IR43	0 (0)	0 (0)	8.5 (8.0-9.0)
Todoroki Wase	42.2 (16.7-96.7)	28.8 (7.0-60.0)	6.7 (6.2-7.1)
<b>Todoroki/IR43</b>			
F2	12.7 (0-69.4)	11.7 (0-82.5)	7.4 (6.0-8.3)
BC IR43	5.2 (0-50.0)	7.2 (0-50.0)	8.1 (7.1-8.8)
BC Todoroki	24.9 (0.7-71.7)	17.6 (0-90.0)	7.0 (6.5-7.9)
<b>Todoroki/IR43</b>			
F2 Planta No.			
3-13	69.4	9.7	8.2
3-20	10.5	61.1	7.8
3-24	13.6	14.0	8.3
3-26	50.0	0	7.8
4-6	2.8	65.0	7.7
4-8	2.8	40.0	7.6
4-12	10.2	0	7.7
4-17	34.7	12.5	7.9
4-25	11.3	4.0	7.8
<b>BC IR43 Planta No.</b>			
3-13	12.5	0	8.7
3-17	8.6	38.0	8.2
3-21	44.4	1.8	7.7
3-26	6.1	90.0	8.7
4-13	1.8	12.5	7.8
4-19	1.3	55.6	8.3
<b>BC Todoroki Planta No.</b>			
3-23	25.4	18.0	7.9



plantas (5-6) con grano largo. Las plantas  $R_1$  obtenidas se cosecharon individualmente y serán evaluadas en 1996 como líneas  $R_2$  por sus características agronómicas, potencial de rendimiento, fertilidad, etc.

Las líneas seleccionadas serán evaluadas como líneas  $R_3$  en un ensayo de rendimiento con varias repeticiones, con el fin de escoger las 10 mejores; estas líneas serán usadas como progenitores en cruces dialélicos para iniciar el ciclo de selección recurrente. Las poblaciones  $F_1$  resultantes se pasarán por CA y de aquí en adelante se repite el proceso ya señalado (Figura 1). Además, los mejores doble haploides pueden constituirse en líneas élite y continuar su proceso de evaluación.

Con el fin de mantener una amplia base genética se deben introducir nuevos cultivares escogidos por sus buenas características agronómicas, potencial de rendimiento y respuesta al CA. Por otra parte, también se podrán usar las plantas androestériles extraídas de otros acervos genéticos que tengan buena respuesta al CA.

### Otras Posibilidades

Existen otros escenarios en donde es posible combinar la selección recurrente con el CA. La incorporación del nuevo tipo de planta desarrollado por el International Rice Research Institute (IRRI), en el germoplasma de arroz de riego adaptado a las condiciones de América Latina, se puede acelerar siguiendo el esquema descrito.

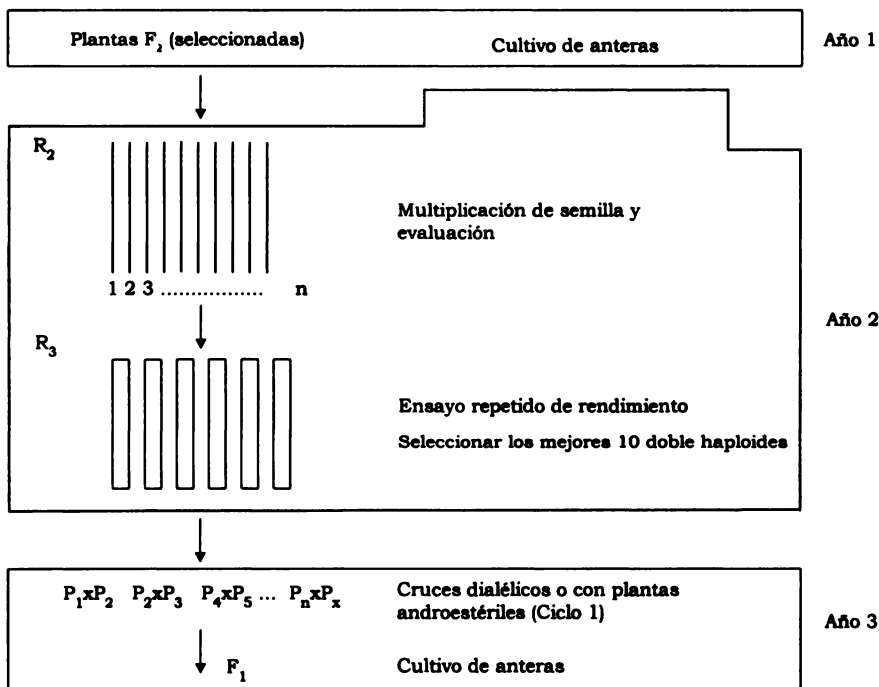


Figura 1. Esquema del proceso para combinar el cultivo de anteras con la selección recurrente, para el desarrollo de acervos genéticos tipo indica con mejor respuesta al CA. (Adaptado de Foroughi-Wehr y Wenzel, 1990.)

La evaluación preliminar hecha en el CIAT (datos no presentados) indica que ese nuevo tipo de planta presenta algunas características morfológicas y fisiológicas interesantes como número de granos/panícula, período de llenado del grano, índice de cosecha, tallos gruesos y fuertes, las cuales son superiores a las exhibidas por nuestro germoplasma (Martínez et al., 1995). Sin embargo, este tipo de planta carece de resistencia a las principales enfermedades que predominan en la región y, además, su tipo de grano debe mejorarse; tales defectos se pueden corregir mediante una serie de retrocruzamientos. La utilización del CA en la F<sub>1</sub> de cada retrocruce permitirá obtener doble haploides, entre los cuales se pueden identificar los mejores mediante una evaluación, para que sirvan como padres para el próximo ciclo.

Por otra parte, mediante la utilización de marcadores moleculares y del mapa genético molecular de arroz, es posible acelerar la transferencia de bloques de genes favorables específicos (QTL) existentes en especies silvestres de arroz, hacia cultivares mejorados (*O. sativa*) utilizando el CA después de cada retrocruzamiento hacia el padre mejorado. Los mejores doble haploides servirán como padres en el siguiente ciclo.

El gran atractivo de este esquema radica en que, como ya fue señalado por Foroughi-Wehr y Wenzel (1990) se combinan dos grandes ventajas: una selección más efectiva derivada del uso de los doble haploides (mejor control sobre la variación ambiental) y una variabilidad genética garantizada por la selección recurrente.

Los avances logrados en la metodología del cultivo de anteras (Sanint et al., 1995) hacen posible la obtención de un número adecuado de doble haploides, aún en el caso de materiales de tipo indica; mediante

una buena presión de selección en estos doble haploides se pueden identificar los mejores para ser usados como progenitores en el próximo ciclo de selección recurrente. La implementación de un programa de selección, ayudado con marcadores moleculares, contribuirá a aumentar la efectividad de la selección.

## Referencias

- Bauske, E. M.; Kolb, F. L.; Hewings, A. D.; y César, G. 1994. Modified recurrent selection for barley yellow dwarf virus tolerance in winter wheat. *Crop Sci.* 43:371-375.
- Blanco, P. H.; Pérez, F. B.; y Roel, A. 1994. Cold tolerance of short-season rice cultivars in Uruguay. 25a. Reunión del Grupo Técnico de Arroz, Nueva Orleans, Luisiana, E. U., marzo de 1994. Memorias.
- Chatel, M. H. y Guimarães, E. P. 1993. Review of the present status and proposals of rice germplasm enhancement for Latin America and Caribe using recurrent selection. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Programa de Arroz, Cali, Colombia. 33 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1992. CIAT'S Rice Program: Context and strategy. Documento de trabajo para la reunión entre centros, diciembre de 1992. 46 p.
- \_\_\_\_\_. 1993. Annual Report 1992: Rice Program.
- \_\_\_\_\_. 1994. Annual Report 1994: Rice Program.
- Cuevas-Pérez, F.; Guimarães, E. P.; y Martínez, C. P. 1992. Status of rice improvement in Latin America and the Caribbean. En: Cuevas-Pérez, F. (ed.). *Rice in Latin America: Improvement, management, and marketing*. Memorias de la VIII Conferencia Internacional de Arroz para América Latina y el Caribe. Villahermosa, Tabasco, México, 1991. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 13-28.

- \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; Berrio, 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.
- De Koeyer, D. L.; Stuthman, D. D.; Fulcher, R. G.; y Pomeranke, G. J. 1993. Effects of recurrent selection for grain yield on oat kernel morphology. *Crop Sci.* 33:924-928.
- Foroughi-Wehr, B. y Wenzel, G. 1990. Recurrent selection alternating with haploid steps: A rapid breeding procedure for combining agronomic traits in inbreeders. *Theor. Appl. Genet.* 80:564-568.
- Gutiérrez, P.; Dávalos, A.; Muñoz, D.; y Leal, D. 1995. *Oryzica Yacu 9*, nueva variedad de arroz. *Arroz* 44(394):10-19.
- Martínez, C. P.; Fisher, A.; González, D.; Ramírez, H.; y Mojica, D. 1995. Potencial y limitaciones del nuevo tipo de planta de arroz del IRRI. *Arroz* 44(339):15-20.
- Mora, J. J. 1991. Transferencia de gene(s) de androesterilidad a una línea avanzada de riego. Tesis, Ing. Agr. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Palmira, Colombia. 78 p.
- Patel, J. D.; Reinbergs, E.; y Feger, S. D. 1985. Recurrent selection in doubled-haploid populations of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Can. J. Genet. Cytol.* 27:172-177.
- Pérez-Almeida, I. B. 1993. Variabilidad genética en la reacción a *P. oryzae* Cav. de dos poblaciones de arroz obtenidas por cultivo de anteras y pedigree. Tesis. M.Sc. Universidad Central de Venezuela. Maracay. 124 p.
- Pomeranke, G. J. y Stuthman, D. D. 1992. Recurrent selection for increased grain yield in oat. *Crop Sci.* 32:1184-1187.
- Ramírez, A.; Sanint, L. R.; Duque, M. C.; y Gutiérrez, N. 1992. Single-factor economic efficiency and irrigated rice research priorities: A methodological approach from farmers' field data. Documento de trabajo. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.
- Reysack, J. J.; Stuthman, D. D.; y Stucker, R. E. 1993. Recurrent selection in oat: stability of yield and changes in unselected traits. *Crop Sci.* 33:919-924.
- Rose, J. L.; Butler, D. G.; y Ryley, M. J. 1992. Yield improvement in soybeans using recurrent selection. *Aust. J. Agric. Res.* 43:135-144.
- Sanint, L. R.; Martínez, C. P.; Ramírez, A.; y Lentini, Z. L. s.f. Rice breeding using anther culture or pedigree methods: A cost/benefit analysis. (Aceptado para su publicación en *Crop Sci.*).