

DIFERENTES ALTERNATIVAS SEGUIDAS EN LA OBTENCION DE VARIEDADES DE ARROZ RESISTENTES A PIRICULARIA (*Piricularia oryzae* Cav.)*

César P. Martínez**

1. INTRODUCCION

A través de la historia se encuentran casos frecuentes en los cuales una enfermedad o plaga determinada en la agricultura fue causa de grandes pérdidas económicas. Millones de personas han muerto como consecuencia del hambre desatada en algunas regiones del mundo, como fue el caso de las hambrunas ocurridas en Irlanda en 1840 y en la India en 1943 (9).

El arroz no es una excepción y desde 1637 ya se conocen informes de enfermedades que lo atacan. Numerosas enfermedades causadas por hongos, bacterias, virus y nemátodos se han registrado en las diferentes zonas arroceras del mundo (7-11).

La piricularia, quemazón, añublo o bruzone causada por *Piricularia oryzae* Cav. fue una de las primeras enfermedades descritas en arroz. Se estima que está presente en unos 70 países, ocasionando grandes pérdidas especialmente en las zonas tropicales. Por su amplia distribución y poder destructivo bajo condiciones favorables, se le considera como la enfermedad más importante del arroz (11).

El objetivo de este trabajo consiste en revisar las estrategias seguidas en la obtención de variedades de arroz resistentes a *Piricularia oryzae*, especialmente en el caso de Colombia.

2. ALGUNAS PROPIEDADES DEL HONGO

Piricularia oryzae

2.1. SINTOMATOLOGIA

El hongo produce lesiones en las hojas, nudos y diferentes partes de la panícula y el grano. Las lesiones en las hojas son elípticas; el centro de la lesión es

usualmente de color grisáceo blancuzco, mientras que los bordes de la lesión son de color pardo o pardo oscuro. La forma, color, tamaño y número de las lesiones varían de acuerdo a las condiciones ambientales reinantes, edad de la lesión y grado de susceptibilidad de la variedad.

Desde el punto de vista de la epidemiología de la enfermedad es importante considerar que en promedio una lesión típica puede producir de 4.000 a 6.000 conidias por noche, durante dos semanas (1-11).

La enfermedad puede presentarse en las diferentes fases de crecimiento del cultivo. En algunos sitios los síntomas más severos al follaje se presentan en el estado de plántula, mientras que en otras partes ello puede ocurrir durante el macollamiento. En otras zonas, los ataques más severos se presentan en el cuello de la panícula (11).

2.2. VARIABILIDAD DEL PATOGENO

Piricularia oryzae es un hongo bastante variable. La existencia de razas que diferían en su patogenicidad se observó desde 1922. Sasaki en 1922 notó que ciertas variedades de arroz eran resistentes a unas razas pero susceptibles a otras. Los resultados obtenidos en el Instituto Internacional de Investigaciones del arroz (IRRI) a partir de 1962 indican que este hongo es bastante variable desde el punto de vista genético (5).

Mediante el uso de variedades diferenciales se ha tratado de determinar el número de razas existentes en una región. Se han identificado unas 18 razas en el Japón, 27 en Taiwan y 116 en las Filipinas (7-11-13)

* Conferencia dictada en el Curso de Arroz. CIAT-Palmira - Abril 18 de 1979.

** Coordinador Nacional Programa de Arroz, del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Apartado Aéreo 233 - Palmira, Valle.

y el número va en aumento. También se ha registrado la existencia de muchas razas en la India, Korea y Estados Unidos (7-13). En Colombia, Gálvez y Lozano, en 1968, identificaron 14 razas diseminadas en las diferentes zonas del país. En el trópico la cantidad de esporas presentes en el ambiente es bastante alta a través del año y la prevalencia de las distintas razas varía con frecuencia.

Por otra parte, se ha encontrado que aislamientos de *Piricularia oryzae* difieren en características morfológicas, requerimientos nutricionales y patogenicidad. Recientemente se ha demostrado que en una misma lesión existen conidias pertenecientes a razas diferentes de *Piricularia oryzae*. Más aún, cultivos provenientes de una sola conidia han dado origen a razas distintas (1-2-11). Giatgong y Frederik, citados por Khush (7), desarrollaron 20 cultivos monoconidiales y durante tres generaciones sucesivas observaron variaciones en las razas producidas. No obstante, Laterell, citada por Day (1) encontró que tales cambios eran raros. Diferencias en la interpretación de la variación, así como en los métodos empleados, podrían explicar dichas discrepancias.

La gran variabilidad observada en *Piricularia oryzae* se ha explicado en los siguientes términos:

- Presencia de células multinculeadas: Generalmente, las conidias de *Piricularia oryzae* están formadas por tres células, la gran mayoría de las cuales posee un solo núcleo; sin embargo, en algunas razas del hongo se ha encontrado que 13-20% de las células tienen de dos a seis núcleos (11).
- Presencia de Heterocariosis: Llámese heterocariosis aquella condición en la cual una célula tiene dos o más núcleos diferentes genéticamente.

Susuki, citado por Ou (11), estudió dicho hongo por varios años y encontró que las conidias, apresorios y micelios poseen células heterocarióticas. Yamasaki y Nuzeki (22) llegaron a la misma conclusión. Debe tenerse en cuenta que la fusión de núcleos genéticamente diferentes puede dar origen a nuevas razas.

Recientemente, Fatemi y Nelson (2) han aportado evidencias sobre la existencia de este fenómeno en *Piricularia oryzae*. Hicieron aislamientos de lesiones provenientes del campo y de cada uno de ellos efectuaron 30 cultivos monoconidiales, los cuales posteriormente fueron apareados entre sí. Encontraron que en varias combinaciones aparecieron tipos similares a los padres así como también tipos diferentes a los progenitores; en otras combinaciones los tipos resultantes fueron iguales a los progenitores. Esto sugiere que algunas razas de *Piricularia oryzae* son heterocarióticas, mientras que otras son homocarióticas.

Mutación: La capacidad reproductiva de este hongo es grande bajo las condiciones normales encontradas en el campo. Datos obtenidos en el Laboratorio de Fitopatología del IRRI (5), sugieren que una planta de arroz moderadamente susceptible puede producir dos millones de esporas por día. Cualquiera de es-

tas esporas producidas a través de mitosis está en capacidad de sufrir cambios en patogenicidad o mutaciones dando origen a una nueva raza.

Por otra parte, la obtención de aislamientos de *Piricularia oryzae*, tolerantes al fungicida Blasticidin-S fue indicada por Hwang y Chung (1977). Ellos tomaron 13 aislamientos de *P. oryzae* de camas de infección y los sometieron a la acción de rayos ultravioleta y altas concentraciones de Blasticidin-S. Además Taga *et al.* (1978), también demostraron la presencia de aislamientos del hongo resistente al fungicida Kasugamycin. Los datos citados (4, 18) sugieren que agentes mutagénicos físicos y químicos pueden inducir cambios en la patogenicidad de *P. oryzae*.

2.3. RESISTENCIA VARIETAL

Desde 1900 se observó que las variedades de arroz diferían en su reacción a *Piricularia oryzae* (6). La reacción de las variedades a esta enfermedad varía de un país a otro, de una localidad a otra y de un semestre a otro dentro de la misma localidad.

A través de las camas de infección de *Piricularia* se determina la resistencia de un gran número de variedades y líneas en un tiempo corto. En dichas camas se proveen condiciones altamente favorables para la incidencia de la enfermedad: bastante nitrógeno, alta densidad de siembra y humedad relativa alta (7, 11).

Una escala internacional de 1 a 7 ha sido elaborada para calificar la resistencia de los materiales; de 1 a 4 la calificación se basa en el tamaño de la lesión y de 5 en adelante en el porcentaje de área foliar afectada. Una calificación de 4 o más indica que la variedad o línea es susceptible.

A través de los viveros internacionales de *Piricularia* (Tabla 1), se ha determinado que no existe una variedad de arroz resistente a todas las razas; también se ha observado que no existe una raza de *Piricularia oryzae* capaz de atacar a todas las variedades (Ou, 11). En la Tabla 1 se observa, por ejemplo, que Tetep ha sido calificada como resistente solamente en el 98% de las pruebas realizadas. De tal manera que en un programa de mejoramiento que busca resistencia varietal a *P. oryzae* los progenitores resistentes se seleccionaron de acuerdo a su comportamiento en los viveros internacionales.

2.4. GENÉTICA DE LA RESISTENCIA A *Piricularia oryzae*.

Muchos estudios se han hecho al respecto, pero la mayor parte de ellos tiene poco valor, ya que no se usaron razas puras del hongo, sino mezclas de varias. Parece que el número de genes que determina la resistencia a *Piricularia oryzae* varía de 1 a 3 pares, siendo la resistencia dominante sobre la susceptibilidad. En el Japón se han identificado 10 pares de genes, algunos de los cuales presentan varios alelos. Estos genes se encuentran distribuidos en varias partes del mundo (7, 11).

Los genes identificados en Japón, China y Estados Unidos, por ejemplo, no se han relacionado entre sí. Por otra parte, se necesitan con urgencia estudios genéticos coordinados con el fin de identificar genes de resistencia en las zonas tropicales de Asia, África y América Latina. Dichos estudios ayudarán grandemente en el desarrollo de variedades resistentes a *P. oryzae*.

3. TIPOS DE RESISTENCIA

Generalmente se habla de resistencia simple cuando está condicionada por un solo par de genes y de resistencia múltiple cuando intervienen muchos pares de genes. Cuando son pocos los genes que la gobiernan se habla de oligogenes.

Van der Plank (19), fue uno de los primeros en llamar la atención sobre la existencia en las plantas de dos tipos de resistencia contra agentes patógenos, cuales son resistencia vertical y horizontal. Recientemente Nelson (10) definió tales conceptos en términos de epidemiología. La resistencia vertical reduce drásticamente la cantidad inicial de inóculo del patógeno y por tanto, la planta se ve libre de la enfermedad; por otra parte, este tipo es de fácil manejo e incorporación en materiales genéticos. Sin embargo, en casos como *Piricularia oryzae*, en donde existen muchas razas y tan variables, la presencia de un solo gene de resistencia vertical en una variedad facilita la multiplicación y rápida diseminación de razas capaces de atacar dicha variedad.

La resistencia horizontal reduce la velocidad a la cual la enfermedad puede propagarse disminuyendo el peligro de cuantiosas pérdidas como las que ocu-

rren cuando se rompe la resistencia vertical. La resistencia horizontal implica la presencia de cierto grado de la enfermedad, es decir, a un nivel no económico. Se dice que la resistencia horizontal es más estable y duradera que la vertical (19); sin embargo, la detección y manejo de la resistencia horizontal es bastante difícil, especialmente en poblaciones segregantes.

4. OBTENCIÓN DE RESISTENCIA VARIETAL A TRAVÉS DE RESISTENCIA VERTICAL

La resistencia simple, la resistencia piramidal y las variedades multilineales representan ejemplos de resistencia vertical.

4.1. RESISTENCIA SIMPLE

En Colombia la obtención de variedades de arroz con resistencia a *Piricularia oryzae* se inició en 1969, utilizando como fuentes de resistencia, las líneas o variedades IR 822, Colombia 1, T 507C, Tetep, Dissi Hatif, Mamoriaka y C 46-15. Este material fue seleccionado sobre la base de su amplia resistencia al bruzone en las camas de infección en la Estación Experimental La Libertad que el ICA tiene en Villavicencio (15).

Las variedades CICA 6, CICA 7, CICA 8 y CICA 9 posiblemente constituyeron ejemplos de este tipo de resistencia, en las cuales IR 822, Colombia 1, Tetep y C 46-15 respectivamente, han sido los donantes de tal característica. Como es bien sabido, las variedades CICA 6 y CICA 9 perdieron rápidamente su resistencia al hongo, mientras que CICA 7 es susceptible en ciertas zonas (Figura 1).

TABLA 1. Comportamiento de algunas variedades de arroz en los Viveros Internacionales de *Piricularia*.*

Variedad	Origen	Pruebas hechas 1964-73	Susceptibilidad	Resistencia**
Tetep	Vietnam	302	1,24	98,0
C 46-15	Berna	307	1,56	93,8
Tadukan	Filipinas	309	1,50	94,5
Ta-poo-cho-z	China	277	1,61	91,3
Mamoriaka	Malagasy	227	1,48	97,8
Carreon	Filipinas	227	1,38	97,4
Dissi Hatif	Senegal	223	1,51	97,3
Fanny	Francia	252	4,39	19,4

* Tomado de: Khush. 1978, Disease and insect resistance in rice.

** Se refiere al porcentaje de pruebas en las cuales la variedad ha sido calificada como resistente.



FIGURA 1. Campo de multiplicación de semilla básica de CICA 7. Una de las pocas variedades que aún conserva su resistencia a *Piricularia orizae* en ciertas zonas.

Desde 1972 se viene trabajando en la Estación Experimental La Libertad en un proyecto en el cual se efectúa una selección doble por resistencia a *Piricularia oryzae*; o sea que se buscan líneas resistentes al hongo, no sólo en estado de plántulas en las camas de infección, sino que además en el campo sean resistentes a los ataques del hongo en el cuello de la panícula. Se han identificado seis líneas promisorias (Tabla 2) con buen potencial de rendimiento, buena calidad de grano y cocina, resistentes a *Sogatodes*, bastante resistentes a *Piricularia oryzae* en estado de plántula y con un porcentaje bajo de infección de *Piricularia* en el cuello de la panícula. Estas líneas están siendo evaluadas en pruebas regionales.

La estrategia de entregar una variedad con determinado gene de resistencia a *Piricularia oryzae*, esperar a que se rompa la resistencia y entonces entregar otra variedad con un gene de resistencia diferen-

te ha sido utilizada no sólo en Colombia, sino en otras partes; por ejemplo, según Watson y Luig (21), se usó en Australia en el control de la roya del tallo del trigo desde 1938 hasta 1950 y actualmente se emplea en las Filipinas en el control de un insecto parecido en su poder dañino a *Sogatodes* (7). Este método tiene estos inconvenientes:

- Rápidamente se pueden agotar los genes de resistencia.
- La obtención de variedades mejoradas con diferentes genes en tiempo corto impone una gran carga sobre los fitomejoradores y causa traumatismos a los agricultores y a la certificación de semillas.
- La pérdida ocasionada por la ruptura de la resistencia es grande.

TABLA 2. Comportamiento de algunas líneas promisorias resistentes a *Piricularia oryzae*. Puerto López, Meta, 1978 A.

Línea o	<i>Rynchosporium Oryzae</i> *	Infección de <i>Piricularia oryzae</i>		Vuelco %	Rendimiento (mm)
		Hoja**	Cuello		
5001	5,0	1,2	3	43	6138
5002	2,5	1,2	13	13	6917
5005	2,0	1	8	5	6149
5006	3,5	1,2	6	58	6111
5009	5,0	1,2,3	13	0	6218
5010	1,5	1,2	17	0	6323
5029	1,5	1	5	5	5869
CICA 4	6,5	3,4	58	0	5029
CICA 8	1,5	1,2	1	30	6709
CICA 9	16,5	3,4	93	0	1212
IR 22	6,0	3,4	80	0	5073

* Sobre la base del área foliar afectada.

** Escala de 0 a 9.

4.2. RESISTENCIA PIRAMIDAL

En 1975 se inició este proyecto tendiente a incorporar en una sola variedad varios genes de resistencia. Esta estrategia le dificulta al hongo el desarrollo de razas nuevas y por ende, se dice que es más estable que la anterior. Variedades mejoradas de trigo que poseen hasta cinco genes de resistencia a la roya del tallo han sido desarrolladas (7). Este método depende de la presencia de razas capaces de distinguir genotipos con varios genes de resistencia. Desafortunadamente no existen estudios genéticos que demuestren que los genes de resistencia presentes en las variedades no mejoradas como Tetep, Dissi Hatif, C 4615, Colombia 1, Mamoriaka y Carreón son diferentes. Se necesita desarrollar en nuestro medio un grupo de variedades diferenciales e identificar razas del patógeno que ataquen a las distintas variedades diferenciales.

Se seleccionaron 10 líneas mejoradas (4418, 4435, 4426, 4436, 4438, 4440, 4452, 4462, 4463, y 4467) de buena calidad, buen potencial de rendimiento y resistentes a *Piricularia oryzae*. Los genes de resistencia en dichas líneas provenían de Colombia 1, Dissi Hatif, C 4615, Tetep y Carreón. Las líneas se entre-cruzaron en todas las combinaciones posibles resultando así 45 cruzamientos simples, los cuales fueron posteriormente entre-cruzados para combinar 3 ó 4 genes de resistencia. Las poblaciones F2 y F4 fueron evaluadas y seleccionadas bajo condiciones de campo en la Estación Experimental La Libertad, mientras que las restantes generaciones fueron evaluadas en el Centro Experimental Palmira.

En la actualidad se están evaluando en las diferentes zonas arroceras del país once líneas promisorias (Tabla 3), las cuales exhiben buen potencial de rendimiento, buena calidad tanto de grano como de molinería, muy poco centro blanco y resistentes tanto a *Sogatodes* como a *P. oryzae*. Estas líneas también se están observando en varios países latinoamericanos a través de los Viveros Internacionales de arroz para América Latina coordinados por el CIAT (Figuras 2 y 3).

4.3. VARIETADES MULTILINEALES

Una variedad multilineal está compuesta por la mezcla de varias líneas o genotipos los cuales difieren únicamente en los genes de resistencia que poseen. Los componentes de una variedad multilineal deben ser agrónomicamente similares en floración, maduración, altura, tipo de planta y grano, calidad molinera y de cocina, etc. Este método fue propuesto por Jensen y Norlaug, citados por Khush (7), y ha sido exitoso en el caso de la avena.

A partir de 1975 se han hecho varios retrocruces tendientes al desarrollo de una variedad multilineal. Los padres recurrentes fueron CICA 9 y la línea 4414, en tanto que los genes de resistencia provienen de las líneas mejoradas 4418, 4462, 4440, 4425 e IR 1445, las cuales fueron derivadas de Tetep, Colombia 1, Carreón, Dissi Hatif y C 4615.

TABLA 3. Algunas características agronómicas de las líneas promisorias seleccionadas para pruebas regionales en Colombia, Palmira 1979 A.

Línea	Pedigree	Floración (días)	Cosecha (días)	Altura (cm)	Centro blanco (0-5)	Rendimiento		
						Índice pilada %	Total kg/ha*	
5684	P 1270-1-4M-3-1M-5	100	128	89	0,6	68	72	6305
5685	P 1274-6-8M-1-3M-1	102	131	97	0,8	64	70	6452
5698	P 1342-6-6M-1-2M-3	100	136	99	0,4	55	67	5921
5709	P 1369-4-16M-1-2M-4	101	135	86	0,6	60	69	7039
5715	P 1377-1-15M-4-1M-1	104	129	98	0,8	65	71	6617
5728	P 1386-6-8M-1-3M-1	108	131	96	0,2	60	69	6339
5732	P 1397-4-9M-3-3M-3	107	140	94	0,6	65	70	7404
5734	P 1404-1-1M-1-1M-1	114	140	95	0,2	68	71	6062
5738	P 1429-8-9M-2-1M-5	98	127	85	0,4	66	71	6608
5852	P 1264-6-11M-1-3M-4	99	127	89	0,4	64	71	6815*
5854	P 1377-1-15M-1-2M-3	100	136	98	0,4	56	70	4723*
IR 22		97	122	75	0,2	55	72	3102*
CICA 8		110	136	87	0,6	56	68	6609
CICA 4		96	126	78	0,6	61	70	5984

* Corresponde al promedio de tres semestres (77B, 78A y B) en ensayos de rendimiento en el C.E. Palmira con excepción de las líneas 5852, 5854 e IR-22, cuyos datos corresponden al semestre 1978-B.

Los datos de molinería corresponden al promedio de tres repeticiones, c/u de 1 kg de arroz cáscara.

Desde 1972 se viene trabajando en la Estación Experimental La Libertad en un proyecto en el cual se efectúa una selección doble por resistencia a *Piricularia oryzae*; o sea que se buscan líneas resistentes al hongo, no sólo en estado de plántulas en las camas de infección, sino que además en el campo sean resistentes a los ataques del hongo en el cuello de la panícula. Se han identificado seis líneas promisorias (Tabla 2) con buen potencial de rendimiento, buena calidad de grano y cocina, resistentes a *Sogatodes*, bastante resistentes a *Piricularia oryzae* en estado de plántula y con un porcentaje bajo de infección de *Piricularia* en el cuello de la panícula. Estas líneas están siendo evaluadas en pruebas regionales.

La estrategia de entregar una variedad con determinado gene de resistencia a *Piricularia oryzae*, esperar a que se rompa la resistencia y entonces entregar otra variedad con un gene de resistencia diferen-

te ha sido utilizada no sólo en Colombia, sino en otras partes; por ejemplo, según Watson y Luig (21), se usó en Australia en el control de la roya del tallo del trigo desde 1938 hasta 1950 y actualmente se emplea en las Filipinas en el control de un insecto parecido en su poder dañino a *Sogatodes* (7). Este método tiene estos inconvenientes:

- Rápidamente se pueden agotar los genes de resistencia.
- La obtención de variedades mejoradas con diferentes genes en tiempo corto impone una gran carga sobre los fitomejoradores y causa traumas a los agricultores y a la certificación de semillas.
- La pérdida ocasionada por la ruptura de la resistencia es grande.

TABLA 2. Comportamiento de algunas líneas promisorias resistentes a *Piricularia oryzae*. Puerto López, Meta. 1978 A.

Línea o	<i>Rynchosporium Oryzae</i> *	Infección de <i>Piricularia oryzae</i>		Vuelco %	Rendimiento (mm)
		Hoja**	Cuello		
5001	5,0	1,2	3	43	6138
5002	2,5	1,2	13	13	6917
5005	2,0	1	8	5	6149
5006	3,5	1,2	6	58	6111
5009	5,0	1,2,3	13	0	6218
5010	1,5	1,2	17	0	6323
5029	1,5	1	5	5	5869
CICA 4	6,5	3,4	58	0	5029
CICA 8	1,5	1,2	1	30	6709
CICA 9	16,5	3,4	93	0	1212
IR 22	6,0	3,4	80	0	5073

* Sobre la base del área foliar afectada.

** Escala de 0 a 9.

4.2. RESISTENCIA PIRAMIDAL

En 1975 se inició este proyecto tendiente a incorporar en una sola variedad varios genes de resistencia. Esta estrategia le dificulta al hongo el desarrollo de razas nuevas y por ende, se dice que es más estable que la anterior. Variedades mejoradas de trigo que poseen hasta cinco genes de resistencia a la roya del tallo han sido desarrolladas (7). Este método depende de la presencia de razas capaces de distinguir genotipos con varios genes de resistencia. Desafortunadamente no existen estudios genéticos que demuestren que los genes de resistencia presentes en las variedades no mejoradas como Tetep, Dissi Hatif, C 4615, Colombia 1, Mamoriaka y Carreón son diferentes. Se necesita desarrollar en nuestro medio un grupo de variedades diferenciales e identificar razas del patógeno que ataquen a las distintas variedades diferenciales.

Se seleccionaron 10 líneas mejoradas (4418, 4435, 4426, 4436, 4438, 4440, 4452, 4462, 4463, y 4467) de buena calidad, buen potencial de rendimiento y resistentes a *Piricularia oryzae*. Los genes de resistencia en dichas líneas provenían de Colombia 1, Dissi Hatif, C 4615, Tetep y Carreón. Las líneas se entre-cruzaron en todas las combinaciones posibles resultando así 45 cruzamientos simples, los cuales fueron posteriormente entre-cruzados para combinar 3 ó 4 genes de resistencia. Las poblaciones F2 y F4 fueron evaluadas y seleccionadas bajo condiciones de campo en la Estación Experimental La Libertad, mientras que las restantes generaciones fueron evaluadas en el Centro Experimental Palmira.

En la actualidad se están evaluando en las diferentes zonas arroceras del país once líneas promisorias (Tabla 3), las cuales exhiben buen potencial de rendimiento, buena calidad tanto de grano como de molinería, muy poco centro blanco y resistentes tanto a *Sogatodes* como a *P. oryzae*. Estas líneas también se están observando en varios países latinoamericanos a través de los Viveros Internacionales de arroz para América Latina coordinados por el CIAT (Figuras 2 y 3).

4.3. VARIEDADES MULTILINEALES

Una variedad multilineal está compuesta por la mezcla de varias líneas o genotipos los cuales difieren únicamente en los genes de resistencia que poseen. Los componentes de una variedad multilineal deben ser agrónomicamente similares en floración, maduración, altura, tipo de planta y grano, calidad molinera y de cocina, etc. Este método fue propuesto por Jensen y Norlaug, citados por Khush (7), y ha sido exitoso en el caso de la avena.

A partir de 1975 se han hecho varios retrocruces tendientes al desarrollo de una variedad multilineal. Los padres recurrentes fueron CICA 9 y la línea 4414, en tanto que los genes de resistencia provienen de las líneas mejoradas 4418, 4462, 4440, 4425 e IR 1445, las cuales fueron derivadas de Tetep, Colombia 1, Carreón, Dissi Hatif y C 4615.

TABLA 3. Algunas características agronómicas de las líneas promisorias seleccionadas para pruebas regionales en Colombia, Palmira 1979 A.

Línea	Pedigree	Floración (días)	Cosecha (días)	Altura (cm)	Centro blanco (0-5)	Rendimiento		
						Índice pilada %	Total kg/ha*	
5684	P 1270-1-4M-3-1M-5	100	128	89	0,6	68	72	6305
5685	P 1274-6-8M-1-3M-1	102	131	97	0,8	64	70	6452
5698	P 1342-6-6M-1-2M-3	100	136	99	0,4	55	67	5921
5709	P 1369-4-16M-1-2M-4	101	135	86	0,6	60	69	7039
5715	P 1377-1-15M-4-1M-1	104	129	98	0,8	65	71	6617
5728	P 1386-6-8M-1-3M-1	108	131	96	0,2	60	69	6339
5732	P 1397-4-9M-3-3M-3	107	140	94	0,6	65	70	7404
5734	P 1404-1-1M-1-1M-1	114	140	95	0,2	68	71	6062
5738	P 1429-8-9M-2-1M-5	98	127	85	0,4	66	71	6608
5852	P 1264-6-11M-1-3M-4	99	127	89	0,4	64	71	6815*
5854	P 1377-1-15M-1-2M-3	100	136	98	0,4	56	70	4723*
IR 22		97	122	75	0,2	55	72	3102*
CICA 8		110	136	87	0,6	56	68	6609
CICA 4		96	126	78	0,6	61	70	5984

* Corresponde al promedio de tres semestres (77B, 78A y B) en ensayos de rendimiento en el C.E. Palmira con excepción de las líneas 5852, 5854 e IR-22, cuyos datos corresponden al semestre 1978-B.

Los datos de molinería corresponden al promedio de tres replicaciones, c/u de 1 kg de arroz cáscara.



FIGURA 2. Las nuevas líneas promisorias se caracterizan por tener hojas cortas, erectas y verse hasta la maduración y una panícula larga y pesada.

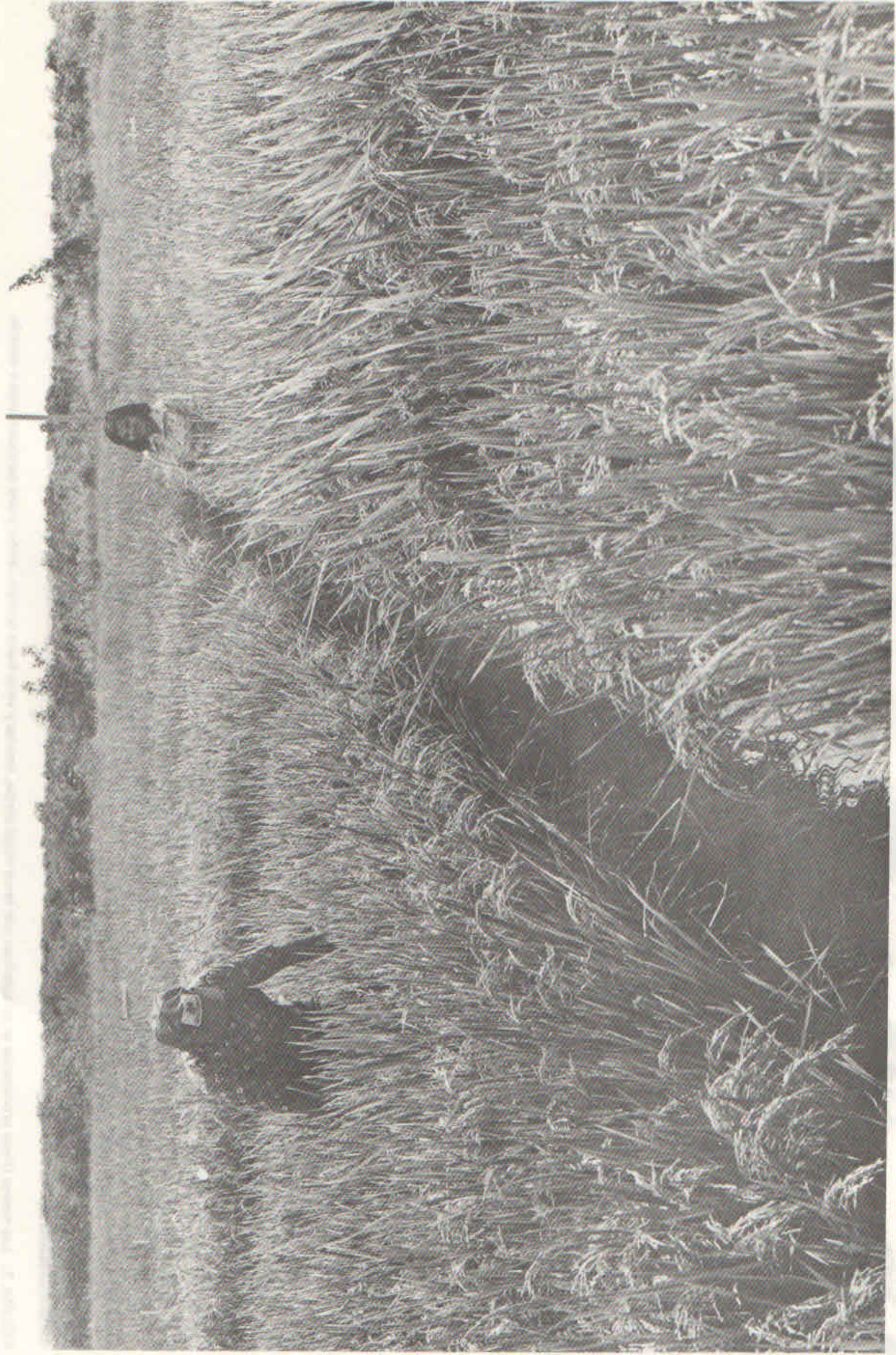


FIGURA 3. Una evaluación cuidadosa y periódica es necesaria con el fin de determinar cuáles son los materiales más promisorios dentro de un sinnúmero de líneas.

El genotipo de los padres recurrentes se recuperó especialmente con el tercer retrocruzamiento y las líneas seleccionadas presentan bastante uniformidad en sus características agronómicas; se escogieron cinco líneas (Tabla 4) para ser evaluadas en ensayos de rendimiento durante 1979.

En general se observó que si bien estas líneas tienen un buen potencial de rendimiento, el tipo de planta (mucho follaje, tallos débiles, largos y delgados propensos al volcamiento), no es apropiado. Además, se notó desuniformidad en las líneas en cuanto a floración, maduración y tipo de grano, a más de cierto vaneamiento. Como estas observaciones coincidieron con las realizadas en los Centros Experimentales del ICA en Nataima, La Libertad y Turipaná, se decidió descartarlas y concentrar la atención y esfuerzos en otros materiales más promisorios.

Por otra parte, a partir de 1977 se introdujeron al proyecto nuevos padres recurrentes y fuentes de resistencia. Los nuevos padres recurrentes son CICA 8, 4468, CICA 4, línea 8 y Bg 90-2, mientras que las nuevas fuentes de resistencia se refieren a Tapoo-cho-z, Ca 902/b/3/3, P.I. 184675-2 y SML 56-7.

Se completaron los cruzamientos necesarios para incorporar tres genes de resistencia en cada uno de los componentes de la multilineal y desarrollar así una variedad multilineal con resistencia múltiple.

5. OBTENCION DE VARIEDADES CON RESISTENCIA HORIZONTAL

Nagai *et al.* (1970), Ou *et al.* (1971) y Rodríguez y Gálvez (1975), han presentado evidencias sobre la existencia de este tipo de resistencia en arroz. Sin embargo, su utilización ha sido difícil debido a que el sistema de polinización directa del arroz dificulta la concentración de genes menores y a la falta de métodos adecuados de campo para la identificación y selección de plantas o progenies que exhiben dicha característica.

Reconociendo la gran importancia que tiene esta alternativa en la lucha contra *Piricularia oryzae*, el Programa de Arroz inició a partir de 1978 varios proyectos que tienden a explotar este tipo de resistencia. Entre ellos tenemos:

5.1. CONCENTRACION DE GENES MENORES

A través de cruzamientos dirigidos se persigue concentrar en una variedad genes menores dispersos en diferentes variedades. Para ello se introdujeron y evaluaron en las camas de infección y bajo condiciones de campo, 12 variedades caracterizadas por exhibir resistencia horizontal en varias partes del mundo (tabla 5).

TABLA 4. Algunas características agronómicas de posibles componentes de una variedad multilineal, Centro Experimental Palmira, 1979 A*.

Línea	Cruce/Pedigree	Amilosa %	Centro Blanco**	Cosecha (días)	Altura (cm)	Rendimiento (kg/Ha)
5881	4414/3 x 4418 P 1867-9-18-1	30	0,8	129	112	5619
5882	4414/3 x 4440 P 1869-11-18-1	28	1,0	130	105	5775
5883	4414/3 x 4462 P 1870-9-9-1	30	0,6	130	103	6019
5884	4414/3 x IR 1415 P 1871-1-14-1	29	1,2	129	104	5498
5885	Multilineal (5881 + 5882 + 5883 + 5884)	—	—	128	107	5603
CICA 4	—	28	0,6	126	81	4369
CICA 8	—	30	0,6	132	87	6068
CICA 9	—	30	0,6	125	100	5604

* Promedio de tres replicaciones.

** Centro blanco: escala de 0 a 5 en donde 0 se refiere a grano translúcido y 5 a grano totalmente manchado.

TABLA 5. Algunas características agronómicas de 12 variedades incorporadas en el proyecto de resistencia horizontal.

Variedad	Tipo planta	Calidad grano	Resistencia a <i>Sogatodes</i>	Origen
Moroberekan	Alta	Mala	Susceptible	Africa Occidental
Suakoko	Alta	Mala	Susceptible	Africa Occidental
O.S.6	Alta	Mala	Susceptible	Africa Occidental
68-63	Alta	Mala	Susceptible	Africa Occidental
IRAT 8	Enana	Mala	Susceptible	Africa Occidental
IRAT 10	Enana	Mala	Susceptible	Africa Occidental
IRAT 13	Intermedia	Mala	Susceptible	Africa Occidental
Tapuripa	Alta	Buena	Mod. Suscep.	Surinam
Camponi	Enana	Buena	Mod. Suscep.	Surinam
Ceysvoni	Enana	Buena	Mod. Suscep.	Surinam
Sensho	Enana	Mala	Susceptible	Japón
IR 11-452	Enana	Buena	Resistente	Filipinas

Es posible que las variedades procedentes de una misma región geográfica lleven los mismos genes de resistencia a *Piricularia oryzae*. Por consiguiente, los cruzamientos se hicieron entre variedades procedentes de diferentes grupos, así:

Variedades Africanas x Variedades de Surinam
 Variedades Africanas x Variedades Japonesas
 Variedades Africanas x Variedades Filipinas
 Variedades de Surinam x Variedades Japonesas
 Variedades de Surinam x Variedades Filipinas
 Variedades Japonesas x Variedades Filipinas

La generación F₁ de estos cruzamientos se está cruzando con variedades susceptibles de alto rendimiento y buena calidad.

5.2. SELECCION RECURRENTE

Recientemente, Sharp *et al.* (1976), propusieron que la resistencia horizontal puede obtenerse partiendo de una base genética susceptible. Estos investigadores cruzaron diferentes variedades de trigo que eran susceptibles o moderadamente susceptibles a la roya del trigo (*Piricularia striiformis* West) y después de varios ciclos de selección obtuvieron progenies que exhibían altos niveles de resistencia a la mencionada enfermedad.

Siguiendo esta idea, se escogieron 12 variedades (Tabla 6) muy susceptibles a *Piricularia oryzae* y se efectuaron 68 cruzamientos. Las poblaciones F₂ serán evaluadas en el Centro Experimental La Libertad, Villavicencio, bajo condiciones de campo y las plantas que muestren cierta tolerancia serán seleccionadas para iniciar un segundo ciclo de cruzamientos y así sucesivamente. La evaluación de las poblaciones segregantes en sitios en donde se presenta una alta incidencia de la enfermedad, la selección y el subsiguiente entre-cruzamiento de las plantas seleccionadas debe permitir la acumulación gradual de genes menores.

5.3. COMBINACION DE GENES MAYORES Y MENORES

Esta idea fue propuesta inicialmente por Vander Plank (1975) quién sugirió que las dos formas de resistencia (vertical y horizontal) pueden combinarse utilizando una variedad con resistencia horizontal como padre recurrente, en un programa de retrocruzamiento. Este proyecto apenas se inició y como padres recurrentes se escogieron Ciwini, Camponi, Ceysvoni, Tapuripa e IR 11-452 y se cruzaron con CICA 7, CICA 8, y las líneas 5002, 5009, y 5954.

TABLA 6. Variedades susceptibles escogidas para un programa de selección recurrente.

Línea	o	Variedad	
1.		1170	Bg 90-2 x (IR 1541 x Ob 678)
2.		2485	IR 2035-290 x (Bg 90-2 x Pelita 1/1)
3.		3674	73-797 x (BKN 6809 x IR 1529)
4.		2123	Bg-90-2 x (IR 1541 x Ob 678)
5.		3838	IR 262 x (BKN 6809 x IR 1529)
6.		5568	P 1223 x P 1248
7.		IR 262	TNI ⁴ x Peta
8.		CICA 4	IR 8 x IR 12
9.		Inti	IR 8 x (Fortuna x Minagra)
10.		Línea 8	IR 930-53 x IR 579-160
11.		Bg. 90-2	IR 262 x Remadja
12.		Bg 374-1	Bg 66-1 x IR 20

6. DISCUSION

El arroz se cultiva continuamente en varias zonas en Colombia y las condiciones climáticas (temperatura, humedad, precipitación, etc.), son altamente favorables para la presencia y diseminación de piricularia; además, los arroceros en general utilizan una alta densidad de siembra y mucho nitrógeno, lo cual también es favorable para la enfermedad. Estas condiciones, unidas a la gran variabilidad que exhibe *Piricularia oryzae*, dificulta la obtención de variedades de arroz con resistencia estable a este hongo.

La obtención de variedades resistentes a *P. oryzae* se inició en 1969. Cruzamientos simples, dobles y triples se hicieron para incorporar los genes de resistencia provenientes de IR 822, Colombia 1, Tetep, Dissi Hatif, Mamoriaka, C 46-15 y Carreón en materiales más promisorios. Varios años de selección en los Centros Experimentales Palmira y La Libertad, resultaron en la obtención de las variedades CICA 4, CICA 6, CICA 7, CICA 8 y CICA 9, las cuales, a más de IR 8 e IR 22 (introducidas de las Filipinas), causaron un tremendo impacto en la producción arroceras nacional. El rendimiento promedio nacional pasó de 1,8 t/ha en 1961 a 4,3 t/ha en 1978 y más importante aún, el país se convirtió en autosuficiente en arroz y a veces exporta pequeñas cantidades.

La siembra de variedades de mayor potencial de rendimiento, con mayor resistencia a *Piricularia oryzae* y al insecto Sogata (*Sogatodes oryzicola* Muir) y el uso de mejores prácticas de cultivo, sentaron las bases para un gran cambio tecnológico en arroz en Colombia. La principal implicación de esto ha sido la estabilización de la producción arroceras nacional. En 1978 esta producción constituyó un récord (1.871.074

toneladas de arroz cáscara), a pesar de que CICA 9 fue atacada severamente por piricularia en algunas zonas arroceras.

La entrega frecuente y periódica de estas variedades ha tenido un éxito relativo, si se tiene en cuenta que las variedades CICA 4, CICA 6, y CICA 9 perdieron rápidamente su resistencia a piricularia. De ahí que sea necesario explorar otras alternativas que permitan la obtención de variedades con resistencia más estable y duradera a *Piricularia oryzae*.

No obstante, la falta de información en varios aspectos genéticos, patológicos y epidemiológicos dificulta dicha labor. Casi no existe información relativa al número de genes presentes en las fuentes de resistencia disponibles, ni sobre la relación existente entre dichos genes. Por otra parte, los datos de los viveros internacionales de *Piricularia* indican que las variedades Tetep y Carreón poseen un espectro amplio de resistencia a *P. oryzae*; sin embargo, la transferencia de esos genes a materiales más promisorios pero susceptibles, no ha sido muy satisfactoria. Es posible que durante el proceso de cruzamiento y posterior selección no se haya podido recuperar el "paquete completo de factores de resistencia" presente en dichos progenitores; también es probable que dichos genes se comporten en forma distinta al ser transferidos a otra base genética, como se ha registrado en varios cultivos.

Se ha sugerido emplear las fuentes de resistencia antes mencionadas como padres recurrentes en un programa de retrocruzamientos, lo cual no es una buena situación. Generalmente esos progenitores resistentes son altos, susceptibles al volcamiento, tienen

bajo potencial de rendimiento y mala calidad de grano y cocina y fácilmente se puede terminar con líneas resistentes, pero con las características indeseables ya anotadas. Estos progenitores resistentes han sido irradiados con CO_{60} con la idea de inducir y recuperar mutantes enanos y resistentes a *Piricularia oryzae* para ser usados posteriormente en cruzamientos.

Varios estudios (8, 12, 14) han indicado la posibilidad de desarrollar variedades de arroz con resistencia horizontal o de campo a *Piricularia oryzae*; sin embargo, también se presentan varios problemas. La dependencia casi exclusiva en las condiciones naturales existentes en el campo resulta muchas veces en niveles inadecuados de infección, lo cual no permite una buena evaluación de los materiales genéticos. Por lo tanto, hacen falta medios prácticos para inducir la enfermedad y métodos adecuados para evaluar poblaciones segregantes. En la Estación Experimental La Libertad en Villavicencio se iniciarán algunos experimentos tendientes a desarrollar la metodología apropiada.

De tal manera que la tarea que afronta el fitomejorador en arroz es ardua; los problemas existentes en el cultivo, la falta de información en ciertas áreas y la variabilidad de *Piricularia oryzae*, tal vez sugieren que es mejor explorar varias alternativas.

De las diferentes estrategias en estudio se ha logrado mayor progreso en el de resistencia piramidal. Once líneas promisorias (Tabla 3) se están observando en las diferentes zonas arroceras del país y otras cinco líneas esperan turno. El progreso alcanzado en este proyecto se debe posiblemente a que ya existían líneas promisorias derivadas de los progenitores resistentes; esas líneas sirvieron de base para iniciar el proyecto mientras que en las otras alternativas se empezó prácticamente de cero.

Con relación a este proyecto de resistencia piramidal se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

Con el fin de evitar las malas características agronómicas de los padres resistentes (Tetep, Carreón, Dissi, Hatif, Colombia 1 y C 46-15), tales como bajo potencial de rendimiento, mal tipo de planta, volcamiento, mala calidad, etc., se partió de líneas avanzadas resistentes derivadas de cruzamientos en los cuales se utilizaron los progenitores arriba mencionados. Es posible que esas líneas derivadas no tuvieran el "paquete completo de factores de resistencia" presente en los padres resistentes.

Hasta el momento no se puede decir que la combinación de los diferentes genes de resistencia se ha logrado en estas líneas piramidales en evaluación. Para ello se requiere la formación de un conjunto de variedades diferenciales y la identificación de razas del hongo que permitan discriminar la presencia de los diferentes genes en las líneas evaluadas.

En diferentes zonas se ha determinado la presencia de distintas razas de *Piricularia oryzae* (3,7,11,13). Por consiguiente, la evaluación de estas líneas en una gran diversidad de localidades es altamente deseable, con el fin de determinar qué tan amplia es la resistencia que poseen a *Piricularia oryzae*.

7. CONCLUSIONES

El hongo *Piricularia oryzae* es muy variable y entre las causas que explican dicha variabilidad se mencionan su carácter heterocariótico, la presencia de recombinación miótica y su capacidad de mutación.

Las condiciones ambientales y las prácticas de cultivo empleadas por los arroceros en Colombia favorecen la incidencia de *piricularia*.

Las circunstancias anteriores y la falta de información en ciertos aspectos genéticos, patológicos y epidemiológicos tornan difícil la obtención de variedades de arroz con resistencia estable a *piricularia*.

En vista de que la incorporación de un sólo gene de resistencia en una variedad no ha tenido el éxito deseado, se ha decidido explorar simultáneamente varias alternativas; esto es, resistencia piramidal, obtención de variedades multilineales, concentración de genes menores y combinación de genes mayores y menores.

Se han identificado once líneas promisorias que podrían tener resistencia piramidal a *piricularia*. Estas líneas difieren en tipos de planta, ciclos vegetativos y altura, pero se caracterizan en general por presentar resistencia a *piricularia* y al insecto sogata, tolerancia al escaldado de la hoja y por tener buena calidad de grano y molinería y un alto potencial de rendimiento. Estas líneas se están evaluando en diferentes zonas arroceras con el fin de determinar su adaptación y comportamiento con relación a *Piricularia oryzae*.

8. RESUMEN

El arroz se cultiva continuamente en varias zonas en Colombia y las condiciones climáticas (temperatura, humedad, precipitación, etc.) son altamente favorables para la presencia y diseminación de *piricularia*; además, los arroceros en general utilizan una alta densidad de siembra y mucho nitrógeno, lo cual también favorece a esta enfermedad. Esas condiciones, unidas a la gran variabilidad presente en *Piricularia oryzae*, dificultan la obtención de variedades de arroz con resistencia estable a la enfermedad.

Varias alternativas se están explorando simultáneamente en la búsqueda de variedades con resistencia estable a *piricularia*. Estas alternativas son: combinación de genes mayores o resistencia piramidal, desarrollo de variedades multilineales, concentración de genes menores y combinación de genes mayores y menores. Se discutieron las ventajas y desventajas de cada una de esas alternativas, así como también las limitaciones y progreso alcanzado en cada caso.

Sin embargo, la información existente sobre varios aspectos genéticos, patológicos y epidemiológicos es muy limitada. Falta mayor información sobre el número de genes que poseen variedades resistentes como Tetep, Carreón, Dissi Hatif, C 46-15, Mamoria-ka, Colombia 1, etc. Igualmente se desconocen las relaciones existentes entre esos genes.

Se han identificado once líneas promisorias, las cuales podrían tener resistencia piramidal a *Piricularia oryzae*. Estas líneas se están evaluando en pruebas regionales en Colombia y en varios países Latinoamericanos, con el fin de determinar su adaptación y comportamiento con relación a piricularia. Las líneas tienen un grano largo y delgado, un contenido intermedio o alto de amilasa, buena calidad de molinería y cocina, resistencia al insecto sogata (*Sogatodes oryzae*) y un alto potencial de rendimiento.

9. SUMMARY

Different alternatives in order to obtain rice varieties with resistance to *Piricularia oryzae* Cav.

Rice is widely grown in Colombia (aprox. 400.000 has. each year); five major rice growing areas can be identified each presenting different soil types, climatic conditions and problems. Besides, rice is continuously planted and climatic conditions (temperature, humidity and rainfall) are highly favorable for the development and spread of rice blast. Furthermore, dense planting and high levels of fertilization used by farmers favor the incidence of blast. These conditions

coupled with the high variability known to exist within *Piricularia oryzae* complicate the breeding for stable blast resistance.

Several alternatives are being explored in trying to obtain stable resistance to *P. oryzae*. These alternatives are: pyramiding of major genes, development of multilines, concentration of minor genes, and combination of major and minor genes. However, lack of information on several genetic, pathological and epidemiological aspects restrict progress. Information is lacking on the number of genes present in known resistant varieties, such as Tetep, Carreon, Dissi Hatif, C 46-15, Mamoriaka, etc.; whether these varieties possess different functional genes is not known.

Advantages and disadvantages of each of the alternatives being explored are discussed and progress made is reported.

Eleven pyramided lines have been identified and are being evaluated in regional trials throughout Colombia and in several latin american countries to determine their adaptability and resistance to *P. oryzae* under a wide range of environmental conditions.

These lines have long and slender grains, intermediate to high amylose content, excellent grain appearance, good milling quality, resistance to *Sogatodes oryzae* and good yield potential.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. DAY, P.R. Genetic of host - parasite interaction. W.H. Freeman and Co. San Francisco. 238 p. 1974.
2. FATEMI, J. y NELSON, R.R. Intra-isolate heterokaryosis in *Piricularia oryzae*. Phytopathology 67:1523-1525. 1977.
3. GALVEZ, G. y LOZANO, L.C. Identification of races of *Piricularia oryzae* in Colombia. Phytopathology. 58:294-296. 1968.
4. HWANG, B.K. y CHUNG, H.S. Acquired tolerance to blasticidin-s in *Piricularia oryzae*. Phytopythology. 67:421-424. 1977.
5. INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. Collaborative blast research project. Paper presented at the International Rice Research Conference. April 16-20. 1979.
6. ITO, R. Breeding for blast resistance in Japan. In: The rice blast disease. Proc. symp. IRRI. John Hopkins Press. Baltimore. 361-370. 1965.
7. KHUSH, G.S. Disease and insect resistance in rice. Adv. in Agron. 29:265-341. 1978.
8. NAGAI, K., FUJIMAKI, H. y YOKOO, M. Breeding of rice variety Toride 1 with multiracial resistance to leaf blast (Res. en inglés) Jaf. J. Breeding. 10:7-14. 1978.
9. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. Genetic vulnerability of major crops: Washington. D.C. 307 p. 1972.
10. NELSON, R.R. Genetics of horizontal resistance to plant diseases. Am. Rev. Phytopathol. 16:359-78. 1978.
11. OU, S.S. Rice diseases. Commonw. Mycol. Inst. England. 368 p. 1972.
12. OU, S.H., NUQUE, F.L., EBRON, T.T. y AWODERM, V.A. A type of stable resistance to blast disease of rice. Phytopathology. 61:703-06. 1971.
13. OU, S.H. y JENNINGS, P.R. Progress in the development of disease-resistant rice. Ann. Rev. Phytopathol. 7:383-410. 1969.
14. RODRIGUEZ, M. y GALVEZ, G.E. Indications of partial resistance of rice to the fungus *Piricularia oryzae*. Proceedings Seminar on Horizontal resistance to the blast disease of rice. CIAT, Cali. 137-153. 1975.

15. ROSERO, M.J. Rice breeding in Colombia. In Rice Breeding. The International Rice Research Institute. Manila, Philippines. 107-114. 1972.
16. SASAKI, T. Existence of strains in rice blast fungus. I.J. Pl. Prot., Tokyo. 9:631-644. 1922.
17. SHARP, E.L., SALLY, B.K. y TAYLOR, G.A. Incorporation of additive genes for stripe rust resistance in winter wheat. Phytopath. 66:794-797. 1976.
18. TAGA, M., NAKAGAWA H., TSUDA, M. y VEYANA, A. Ascospore analysis of kasugamycin resistance in the perfect stage of *Piricularia oryzae*. Phytopathology. 68:815-817. 1978.
19. VAN DER PLANK, J.E. Disease Resistance in plants. Academic Press. New York. 206 p. 1968.
20. VAN DER PLANK, J.E. Horizontal resistance: six suggested projects in relation to blast disease of rice. Proc. Seminar on Horizontal Resistance to the Blast Disease of Rice. CIAT. Series CE- No. 9:21-26. 1975.
21. WATSON, I.A. y LUIG, N.H. Proc. Linn. Soc. N.S.W. 38:235-258. 1963.
22. YAMASAKI, Y. y NUZEKI, H. Studies on variations of the rice blast fungus *Piricularia oryzae*. I. Karyological and genetical studies on variation Nat. Inst. Agric. Sci. Bull. Ser. D. 13:231-272. 1965.