

**RESPUESTA A LA SELECCIÓN Y A CICLOS DE RECOMBINACIÓN
EN LA POBLACIÓN DE ARROZ (*Oryza sativa*. L) DE SECANO PCT-4**

Yolima Ospina Rey

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE POSTGRADOS
SEDE PALMIRA

2002

**RESPUESTA A LA SELECCIÓN Y A CICLOS DE RECOMBINACIÓN
EN LA POBLACIÓN DE ARROZ (*Oryza sativa*. L) DE SECANO PCT-4**

Yolima Ospina Rey

Directores:

Marc-Henri Châtel - I.A. Ph.D. CIAT-C IRAD,

Elcio P. Guimarães - I.A. Ph.D. Embrapa Arroz e Feijão

Director Asociado:

Jaime Eduardo Muñoz F. - Profesor Asociado Universidad
Nacional

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE POSTGRADOS
SEDE PALMIRA

2002

**RESPUESTA A LA SELECCIÓN Y A CICLOS DE RECOMBINACIÓN
EN LA POBLACIÓN DE ARROZ (*Oryza sativa*. L) DE SECANO PCT-4**

Yolima Ospina Rey

TESIS DE GRADO
MAESTRIA EN CIENCIAS AGRARIAS
ENFASIS FITOMEJORAMIENTO

Directores:

Marc-Henri Châtel - I.A. Ph.D. CIAT-CIRAD,

Elcio P. Guimarães - I.A. Ph.D. Embrapa Arroz e Feijão

Director Asociado:

Jaime Eduardo Muñoz F.- Profesor Asociado Universidad
Nacional

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE POSTGRADOS
SEDE PALMIRA

2002

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis dos grandes amigos Elcio P. Guimarães y Marc-Henri Châtel por sus enseñanzas, paciencia y constante apoyo para que este trabajo se llevara a cabo.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar sus sinceros agradecimientos a:

A los investigadores del proyecto Colaborativo de Arroz CIAT-CIRAD, por su apoyo durante la realización de la maestría y el desarrollo del trabajo.

A Myriam Cristina Duque, consultora estadística del CIAT y a James Silva, asistente de sistemas, por sus contribuciones y su incondicional apoyo en los análisis de los datos.

A los técnicos Francisco Rodríguez y Víctor Hugo Lozano, por su incansable colaboración en la ejecución de los ensayos y el desarrollo de las labores de campo.

A la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, al Profesor Jaime Eduardo Muñoz y demás profesores del Postgrado por sus enseñanzas.

Al CIAT por su apoyo a través del plan del Fondo para el Desarrollo de los Recursos Humanos.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. OBJETIVO GENERAL	4
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	4
3. REVISIÓN DE LITERATURA	5
3.1. PRINCÍPIOS DE LA SELECCIÓN RECURRENTE	6
3.2. SELECCIÓN RECURRENTE EN ARROZ	8
3.2.1. Selección Recurrente Basada en Familias $S_{0:2}$	11
3.2.2. Selección Recurrente Basada en Familias $S_{0:1}$	14
3.2.3. Selección Recurrente Masal en Ambos Sexos	16
3.2.4. Selección Recurrente Masal en un Sólo Sexo	19
3.3. DESARROLLO DE POBLACIONES	21
4. MATERIALES Y MÉTODOS	24
4.1. LOCALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS Y ANÁLISIS DE SUELO	24
4.2. MATERIAL EXPERIMENTAL	26
4.3. DISEÑO Y MODELO ESTADÍSTICO	32
4.4. MANEJO AGRONÓMICO	35
4.5. EVALUACIONES	36
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
5.1. REACCIÓN A LA ACIDEZ (AC)	38
5.2. NÚMERO DE DÍAS A FLORACIÓN DEL 50% DE LAS PANÍCULAS (FI)	39
5.3. RENDIMIENTO DE GRANOS (RDTO)	41
5.4. PESO DE LAS 10 PANICULAS (PESO10PA)	44
5.5. NÚMERO DE GRANOS LLENOS (GRLLENOS)	46
5.6. NUMERO DE GRANOS VACIOS (GRVACIOS)	47
5.7. ALTURA DE PLANTA (Ht)	48
5.8. NÚMERO DE TALLOS POR METRO CUADRADO (TALLOSM2)	50
5.9. NÚMERO DE PANICULAS POR METRO CUADRADO (NPANM2)	51
5.10. PESO EN GRAMOS DE LAS SEMILLAS (PESOGSEM)	52
5.11. PESO DE LOS 1000 GRANOS (P1000)	53
6. CONCLUSIONES	55
7. RECOMENDACIONES	57
8. BIBLIOGRAFÍA	58

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Análisis de suelo del sitio donde se sembraron los ensayos discutidos en este trabajo. Estación experimental La Libertad, primer semestre 1999, Villavicencio, Meta, Colombia.....	25
Tabla 2. Propiedades texturales y químicas de algunos suelos en la Altillanura plana del Centro Nacional de Investigación (CNI) de Carimagua manejado por ICA/CIAT, en Meta, Colombia.....	26
Tabla 3. Características de las variables evaluadas en las siete líneas utilizadas como padres para la composición de la población PCT-4\0\0\0.	27
Tabla 4. Descripción y frecuencia de los progenitores que intervinieron en la composición genética de la población básica PCT-4\0\0\0.	28
Tabla 5. Descripción y frecuencia de los progenitores que intervinieron en la composición genética de las poblaciones base CNA-IRAT 4 y CNA-IRAT 5.	29
Tabla 6. Nivel de significancia en los análisis de la varianza combinando los dos ambientes para cada una de las variables evaluadas.	38
Tabla 7. Promedios y su significancia (REGWQ) del número de días a la floración del 50% de las panículas (FI) de las líneas de cada una de las cuatro poblaciones y de los dos grupos de testigos.....	40
Tabla 8. Promedios y su significancia (REGWQ) del rendimiento de granos (RDTO) de las líneas de cada una de las cuatro poblaciones y de los dos grupos de testigos.....	42
Tabla 9. Promedios y su significancia (REGWQ) del peso de las 10 panículas (PESO10PA) de las líneas de cada una de las cuatro poblaciones y de los dos grupos de testigos.....	45
Tabla 10. Promedios y su significancia (REGWQ) de granos llenos (GRLLENOS) de las líneas de cada una de las cuatro poblaciones y de los dos grupos de testigos.....	47
Tabla 11. Promedios y su significancia (REGWQ) de granos vacíos (GRVACIOS) de las líneas de cada una de las cuatro poblaciones y de los dos grupos de testigos.....	48

Tabla 12. Promedios y su significancia (REGWQ) de altura de planta (Ht) de las líneas de cada una de las cuatro poblaciones y de los dos grupos de testigos.	49
Tabla 13. Promedios y su significancia (REGWQ) de tallos por metro cuadrado (TALLOSM2) de las líneas de cada una de las cuatro poblaciones y de los dos grupos de testigos.....	50
Tabla 14. Promedios y su significancia (REGWQ) de número de panículas por metro cuadrado (NPANM2) de las líneas de cada una de las cuatro poblaciones y de los dos grupos de testigos.....	52
Tabla 15. Promedios y su significancia (REGWQ) de peso en gramos de las semillas cosechadas de un metro lineal (PESOGSEM) de las líneas de cada una de las cuatro poblaciones y de los dos grupos de testigos.....	53
Tabla 16. Promedios y su significancia (REGWQ) del peso de los mil granos (P1000) de las líneas de cada una de las cuatro poblaciones y de los dos grupos de testigos.....	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Flujo de poblaciones desarrolladas para éste estudio	31
Figura 2. Distribución de frecuencias relativas acumuladas (FA) para rendimiento RDTO 300 (Kg-ha ⁻¹) dada en porcentaje.	43

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Listado de las líneas provenientes de las cuatro poblaciones y los testigos utilizados para la evaluación del estudio.....	69
Anexo 2. Análisis medido en escala para la variable reacción a la acidez. Tabla estadística de chi cuadrado.....	71
Anexo 3. Escala y descripción de la variable reacción a la acidez.....	72
Anexo 4. Análisis de varianza combinando ambiente (300 y 3000) para las diferentes variables evaluadas de las líneas de cada población y de los grupos de testigos.....	73
Anexo 5. Análisis de varianza por ambiente (300 y 3000) para las diferentes variables evaluadas de las líneas de cada población y de los grupos de testigos.	75

RESUMEN

El mejoramiento convencional ha permitido el desarrollo y liberación de variedades modernas de arroz de secano en América latina. Desde 1996, por a las recomendaciones del CIAT, el proyecto CIAT/CIRAD, ha disminuido las actividades de mejoramiento convencional por cruzamientos intra-específicos en *Oryza sativa*. y se está concentrando en la ampliación de la base genética del arroz de secano y riego. El desarrollo de poblaciones con amplia base genética y el mejoramiento de las mismas por selección recurrente son las nuevas estrategias de mejoramiento utilizadas.

La utilización del gen recesivo de androesterilidad (*ms*) encontrado en un mutante de la variedad IR 36 ha favorecido la creación de las poblaciones. Esto ha facilitado la formación de poblaciones compuestas para sitios específicos. En Colombia, se han mejorado las poblaciones de arroz de secano, utilizando el método de selección recurrente.

El presente trabajo se llevó a cabo en la Estación Experimental de La Libertad (EELL), localizada en Villavicencio, departamento del Meta, Colombia. El objetivo general del trabajo fue evaluar y comparar la respuesta de algunas características agronómicas de la población PCT-4 de arroz de secano a un ciclo de selección recurrente para suelos ácidos y tres ciclos de recombinación, uno antes de la selección y dos ciclos seguidos después de la misma. Esta

población fue creada para las condiciones de las sabanas con suelos ácidos y con alta precipitación anual, introduciendo progenitores tolerantes a la acidez, a enfermedades y potencial de rendimiento. Las variables agronómicas evaluadas en dos ambientes ($300\text{-}3000\text{ kg-ha}^{-1}$ cal dolomítica) fueron: la reacción a la acidez; floración, la altura de planta; los componentes del rendimiento y rendimiento de grano.

Dependiendo de las variables y del ambiente, se presentaron o no, cambios en el comportamiento. Un solo ciclo de selección no permite obtener cambios significativos para la mayoría de las características estudiadas. Este resultado era de esperarse, por que el método de selección recurrente es un proceso gradual y cíclico que permite mejorar paulatinamente características de baja heredabilidad como lo son la mayoría de las variables estudiadas.

Para algunas de las características estudiadas realizar una recombinación antes y dos recombinaciones seguidas después del ciclo de selección recurrente, puede no producir efectos positivos o efectos contrarios a los deseados. Por esto se recomienda que en el mejoramiento poblacional del arroz sólo se utilice una sola recombinación después de la selección lo que permite adelantar otros ciclos de selección.

SUMMARY

Conventional crossbreeding has permitted the development and release of modern upland rice lines in Latin America. Since 1996, following CIAT's recommendations, CIAT and CIAT/CIRAD projects have phased out conventional *Oryza sativa* crossbreeding activities and concentrate on broadening the genetic base of upland and lowland rice.

The development of rice populations with broad genetic base and their enhancement through recurrent selection are new breeding strategies to achieve this objective.

Using a recessive male-sterile gene (ms) from a mutant of IR36, the development of rice population was eased. Site-specific populations were developed. In Colombia, upland basic composite populations were enhanced using the recurrent selection-breeding method.

The present work was held at the experimental station La Libertad, in Villavicencio-Meta, Colombia. The general objective was to evaluate and compare the behavior of agronomic traits of the upland rice population PCT-4 to one cycle of recurrent selection for acid soils and three cycles of recombination one before selection and two cycles after selection. The traits evaluated in two environments (300-3000 kg-ha⁻¹ cal dolomitic) were tolerance to acid soil condition; flowering time; plant height; components yield and grain yield.

The results show that depending of the trait and environment, low or no significant changes were observed. One selection cycle doesn't permit significant genetic progress. This was to expect as recurrent selection method is a gradual and cyclic process for the genetic enhancement of polygenic traits, wich is the case of the traits evaluated.

Open recombination before and after one cycle of recurrent selection doesn't always produce positive effects for some of the traits evaluated. We recommend the use of only one recombination after the selection cycle. This allows speeding-up the next cycle of recurrent selection.

1. INTRODUCCIÓN

Desde los años 70 los fitomejoradores han desarrollado numerosas variedades de arroz de secano que son utilizadas por los agricultores en los diferentes países de América Latina. Fueron creadas buscando, como objetivo principal, la adaptación a las condiciones edafoclimatológicas de las sabanas, que son consideradas hoy como una de las últimas fronteras agrícolas disponibles para la humanidad. Según Cole (1986) este ecosistema representa el área más grande subutilizada para la agricultura en el continente.

Para atender rápidamente la demanda de los agricultores de los diversos países por variedades adaptadas a este ecosistema, los fitomejoradores basaron sus trabajos en el germoplasma local y también en los estudiados en otras regiones. A pesar de que las nuevas variedades comerciales desarrolladas representan un avance para los agricultores, Cuevas-Pérez *et al.* (1992) reportan que las pocas fuentes de variabilidad pueden haber llevado a una reducida base genética que, según fitomejoradores y ambientalistas, conlleva a un alto riesgo frente a posibles desastres causados por factores bióticos y/o abióticos. Por esa razón, las principales instituciones de investigación de la región se han dedicado al tema y están buscando alternativas para ampliar y diversificar la base genética del arroz. Una de ellas,

propuesta por Fujimaki (1979) e implementada por Châtel y Guimarães (1997), es el desarrollo de poblaciones que agrupen y permitan recombinar varios genotipos distintos de los utilizados para la creación de variedades disponibles en el mercado.

Para desarrollar nuevas variedades y avanzar, los fitomejoradores continuaran teniendo como características prioritarias aquellas que favorezcan la adaptación del arroz a las condiciones de sabana, o sea, la tolerancia a la acidez del suelo, la resistencia a las principales enfermedades y el rendimiento de granos, todas ellas gobernadas por sistemas genéticos complejos (poligenes) y consecuentemente de baja heredabilidad. Para mejorar ese tipo de carácter es conocida la baja eficiencia de los métodos tradicionales de mejoramiento genético, como lo son el pedigrí, el masal, el retrocruzamiento, etc.

Haciendo énfasis en esto, el proyecto colaborativo de arroz entre el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia, y el “Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement” (CIRAD), Montpellier, Francia, desde el año 1992, desarrolla poblaciones y las mejora mediante selección recurrente. Ikehashi y Fujimaki (1980) indicaron que este método favorece el aumento de la frecuencia de genótipos favorables en una población, a través de ciclos de evaluación, selección y recombinación. Para iniciar ese trabajo, los investigadores que participan en el proyecto, introdujeron poblaciones de Brasil, obtenidas en el marco de un proyecto entre la “Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria” (EMBRAPA), “Embrapa

Arroz e Feijão” y el CIRAD, y se han derivado, creado y mejorado nuevas poblaciones, teniendo como objetivo final el desarrollo de líneas promisorias y/o progenitores para los programas de mejoramiento genético de las instituciones nacionales de investigación de América Latina y del Caribe (Châtel *et al.*, 1997).

Una de estas poblaciones es la PCT-4, creada para las condiciones de las sabanas con suelos ácidos y con alta precipitación anual. Su mejoramiento para tolerancia a suelos ácidos, enfermedades, ciclo, tipo de planta, tipo de grano y rendimiento de granos, se hizo por medio de la selección recurrente con evaluación de progenies $S_{0.2}$. (Châtel y Guimarães, 1995).

Con la implementación de estas actividades de investigación surgieron varias preguntas, para incrementar la eficiencia del proyecto, entre ellas se mencionan: a) cual es la respuesta a la selección de una población de arroz de secano, desarrollada para el ecosistema de sabana, para diferentes características agronómicas? b) cuál es el efecto de diferentes ciclos de recombinación en una población seleccionada para diversos caracteres agronómicos? c) cuál es la ganancia genética para los diferentes caracteres seleccionados? d) cuál es la mejor estrategia de selección para ser utilizada en poblaciones de amplia base genética?. Aunque todos estos cuestionamientos son importantes y necesitan respuesta, este trabajo tiene como objetivo contestar los dos primeros y dejar listo el material genético para otros estudios que puedan contestar los demás interrogantes.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la respuesta de la población PCT-4 de arroz de secano a un ciclo de selección recurrente para suelos ácidos y tres ciclos de recombinación, uno antes del ciclo de selección y dos seguidos después del ciclo de selección recurrente.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

Determinar la respuesta de algunas características agronómicas de la población PCT-4 a un ciclo de selección para suelos ácidos.

Evaluar y comparar el comportamiento de diferentes características agronómicas de la población PCT-4 cuando esta es sometida a tres ciclos de recombinación uno antes y uno después del ciclo de selección recurrente bajo condiciones de suelos ácidos.

Evaluar en la población PCT-4 el efecto de los dos ambientes sobre las variables agronómicas.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

Históricamente, el mejoramiento de plantas autóгамas se ha concentrado en utilizar principalmente los métodos convencionales de hibridación como los cruces y retrocruces entre dos o más progenitores, y cuyas descendencias son seleccionadas y llevadas a la homocigosis, por pedigrí, masal o masal modificado. Casi siempre, por las dificultades en realizar un gran número de cruzamientos manuales, los métodos poblacionales no han sido utilizados (Fehr 1987).

Esta revisión de literatura se concentrará en el cultivo del arroz, el cual sirve como modelo de la utilización de los métodos poblacionales para el mejoramiento genético de plantas autóгамas. Inicialmente se hará una rápida presentación de los principios del método de mejoramiento poblacional por selección recurrente, después como se está utilizando en arroz y, para concluir, se describirá como se crea una población de amplia base genética con la utilización de un gen recesivo de androesterilidad. Para la última parte se describirá como ejemplo el material básico utilizado para la conducción de este trabajo de tesis, la población PCT-4.

3.1. PRINCIPIOS DE LA SELECCIÓN RECURRENTE

Para el desarrollo de líneas y producción de nuevas variedades, los programas de mejoramiento genético de arroz, utilizan métodos que maximizan la endogamia para la obtención de líneas puras. En estos procedimientos, después de hacer cruzamientos entre dos, tres o más progenitores, se obtienen las diferentes generaciones segregantes por el proceso natural de autofecundación. El avance en la endogamia con las sucesivas generaciones de autopolinización reducen de manera drástica las oportunidades de recombinación, ya que con idénticos alelos en un mismo locus, los procesos de intercruzamientos (crossing-over) se vuelven inefectivos en la producción de nuevos recombinantes (Rangel y Neves, 1997).

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 las plantas alógamas, y utilizando el maíz como modelo, algunos fitomejoradores idealizaron un método que permitiera, al mismo tiempo que se mantuviera la variabilidad genética en niveles elevados, seleccionar, evaluar y recombinar individuos o familias, y mejorar el comportamiento general y/o específico de una población. Esta metodología fue llamada selección recurrente por Jenkins (1940).

Autores como Hayes y Garber (1919) y East y Jones (1920) propusieron, independientemente, sistemas para mejorar poblaciones muy similares a los

que se realizan en maíz. Sin embargo, fue Jenkins (1940) quien realizó la primera publicación de sus experiencias, con una descripción detallada sobre un trabajo de aptitud combinatoria en maíz. Hull (1945) fue quien sugirió que podía ser útil la selección después de cada uno de los ciclos de inter cruzamientos para mejorar la aptitud combinatoria específica.

Selección recurrente significa selección generación tras generación, con mayores posibilidades de inter cruzamiento de los individuos seleccionados, para dar más posibilidades de recombinación de genes, incrementando la frecuencia de alelos favorables y consecuentemente, la probabilidad de obtener líneas superiores en la población bajo mejoramiento. Por tanto la selección entre individuos no es recurrente hasta que se inter cruzan los individuos seleccionados y se inicia un nuevo ciclo de selección (Hull, 1952). Cuanto mayor sea la frecuencia de las combinaciones de genes deseables, tanto mayor será la posibilidad de encontrar plantas con buenos caracteres agronómicos (Allard, 1960).

Geraldi (1997) concuerda con Allard (1960) en describir el método con una serie de ventajas como: la variabilidad genética que se ha obtenido a través de inter cruzamiento de múltiples progenitores, el aumento de las oportunidades de recombinación debido a los cruzamientos sucesivos, e incrementando así la frecuencia de genes favorables, por dicho proceso repetitivo y acumulativo de selección.

Dos factores importantes que cita Chaves (1997), son las propiedades de la población base y la forma como se maneje el proceso de selección. Todas las características de la población base dependen, exclusivamente, de la selección de progenitores cuya adaptación a la región sea la más alta, y que posean atributos favorables y divergencia genética para los caracteres que se pretenden seleccionar y finalmente garantizar la recombinación de estas características.

Como la selección recurrente es un proceso que depende de una gran cantidad de cruzamientos o de la alogamia en la fase de recombinación, su aplicación al mejoramiento de especies autógamas depende más de la adaptación de la especie a la alogamia, que de una adaptación del método a las especies autógamas. Por este inconveniente, se puede interpretar la ausencia de evolución paralela de los trabajos de genética cuantitativa como en el maíz. debido a la dificultad para los intercruzamientos y consecuentemente, la dificultad para obtener poblaciones en equilibrio (Gerald, 1997).

3.2. SELECCIÓN RECURRENTE EN ARROZ

La síntesis de poblaciones de amplia base genética, utilizando varios padres, se dificulta en arroz porque es una especie autógama. Con el método de cruzamientos manuales desarrollado en EMBRAPA, Brasil, en colaboración con el CIRAD, y adaptado en CIAT, se puede manejar con más facilidad un gran número de cruces, como lo indica Sarkarung (1991) en su manual de cruzamientos en arroz. En resumen, el método consiste en eliminar los

estambres (emasculación) de las flores hermafroditas del arroz que, convertidas así en hembras, pueden fecundarse con polen de otras plantas. Pero para obtener una combinación lo más efectiva posible entre todos los genotipos involucrados en la población hay que realizar numerosos cruzamientos. Una solución más atractiva sería trabajar con genes de androesterilidad que, introducidos en las plantas de arroz, les permiten comportarse como si fueran alógamas (Châtel y Guimarães, 1995).

Se ha utilizado un gen recesivo de androesterilidad en arroz, para conseguir que las recombinaciones, tanto al momento de crear las poblaciones como durante los ciclos de recombinación, en el proceso de mejoramiento poblacional, ocurrieran de la manera deseable. Este gen fue descubierto por Singh e Ikehishi (1981), en un mutante de la variedad de arroz de riego IR36, que tiene un gen nuclear recesivo, denominado *ms*, el cual causa, cuando está en homocigosis (*msms*), la esterilidad masculina dejando funcional los órganos femeninos. Las plantas recesivas (*msms*), respecto al carácter descrito (polen estéril), producen semillas sólo cuando son fecundadas por polen cuyas células haploides son *Ms*, originarias de plantas fértiles del tipo *MsMs* homocigotas o *Msms* heterocigotas (Veillet, 1993). La población resultante de ese proceso es una mezcla de plantas homocigotas recesivas y fértiles y se comporta como si fuera alógama, por lo tanto sobre ellas se pueden utilizar los mismos métodos recomendados para ese grupo de especies.

Las plantas androestériles presentan panículas y flores normales, pero su polen es estéril; los granos de polen se pueden diferenciar, a nivel de

laboratorio, por la reacción al yoduro de potasio (Iodine), cuando son fértiles toman un color morado y cuando son estériles no se colorean (Châtel y Guimarães, 1995). En el campo, las plantas normales tienen anteras amarillas y llenas, en cambio las androestériles presentan anteras blanquecinas, arrugadas y de menor tamaño.

La creación de poblaciones de amplia base genética y la utilización del método de mejoramiento poblacional mediante la selección recurrente permiten ampliar inicialmente la base genética, enriquecerla luego con introducciones y manejarlas teniendo en cuenta los objetivos del programa de mejoramiento. La sucesión de ciclos cortos de evaluación, selección y entrecruzamiento de los genotipos elegidos aumentan la frecuencia de los genes favorables (Kervella *et al.*, 1991) y en consecuencia, hacen un mejoramiento paulatino de la población, sin que la variabilidad genética global de ésta resulte muy afectada.

La selección recurrente es, por ello, una labor que planifica el futuro a largo plazo, pero también posibilita obtener resultados y variedades a corto plazo (Châtel y Guimarães, 1995). Lo primero, porque mantiene la variabilidad genética y lo segundo, porque en cada etapa del proceso, donde hay generaciones segregantes, es posible seleccionar genotipos y fijarlos a través de los métodos de pedigrí o masal, como si se estuviera manejando un cruce involucrando muchos progenitores. Con esta estrategia es posible alcanzar los principales objetivos del trabajo que propone el proyecto de mejoramiento poblacional, a saber: la obtención de líneas fijas y futuras variedades

comerciales, el mantenimiento de la variabilidad genética y el mejoramiento de poblaciones para futuras selecciones de líneas y producción de variedades.

Varias especies autógamas han sido sometidas a la selección recurrente: trigo (Altman y Busch, 1984), algodón (Meredith y Bridge, 1971; Miller y Rawlings, 1967), soya (Piper y Fehr, 1987; Guimarães, 1985) y cebada (Bajaj *et al.*, 1990). Se obtuvieron resultados positivos cuando se respetaron los principios de aplicación de este método de selección. En estos ejemplos no se mencionó el arroz porque la selección recurrente se aplicó por primera vez, a este cultivo hace unos 15 años, cuando se estableció, en Brasil, un proyecto conjunto entre CIRAD y “Embrapa Arroz e Feijão” (Taillebois y Castro, 1986) y también por que será presentado de manera detallada en los ejemplos que siguen.

Para el cultivo del arroz, en general, los fitomejoradores han utilizado la selección recurrente basada en la evaluación de familias $S_{0:2}$ (Rangel y Neves, 1997), sin embargo, algunos han usado el método con evaluación de familias $S_{0:1}$ (Filippi y Prabhu, 1997). También existen trabajos que utilizaron el método masal con selección en ambos sexos (Ospina *et al.*, 1997) o sólo en los polinizadores (Morais *et al.*, 1997). A continuación se presentarán mayores detalles sobre esas experiencias.

3.2.1. Selección Recurrente Basada en Familias $S_{0:2}$

El método consiste en la evaluación de familias $S_{0:2}$, las cuales se originaron de la selección realizada en plantas fértiles S_0 de una población base y que fueron

sometidas a dos generaciones de autofecundación sin selección. Las plantas S_0 son las unidades de selección. Sus descendencias se evalúan; las mejores descendencias $S_{0:2}$ se seleccionan y constituyen las unidades de recombinación.

En arroz los fitomejoradores utilizan algunas variantes de esa metodología. Châtel y Guimarães (1995) mencionan que, para la etapa de recombinación (intercruzamientos después de la evaluación del valor de las unidades de selección), existen por lo menos dos alternativas: a) utilizar las semillas $S_{0:2}$ de las plantas o familias seleccionadas y b) almacenar las semillas $S_{0:1}$ y utilizarlas como fuentes para la recombinación. Cuando las unidades de recombinación son las semillas remanentes ($S_{0:1}$), una vez realizada la evaluación de las familias $S_{0:2}$ las mejores son escogidas y se recuperan las semillas originales $S_{0:1}$ para la recombinación. Un ejemplo del uso de esa metodología es descrito por Rangel y Neves (1997) y es llevado a cabo en el programa de mejoramiento en Brasil. Una vez obtenida la población original se siembran las semillas S_0 , en esa etapa se realiza la selección de las mejores plantas que, según estos autores son avanzadas, fuera de la estación de cultivo, como familias $S_{0:1}$ y tienen parte de sus semillas, almacenada para la etapa de recombinación. De las familias $S_{0:1}$ se cosechan plantas fértiles en forma masal, para constituir las $S_{0:2}$, las cuales se evaluarán en la etapa siguiente en diferentes localidades, en ensayos que, en general, son de tipo Bloques Aumentados de Federer (Federer, 1956). Se seleccionan las mejores familias $S_{0:2}$ y para la recombinación se utilizan las semillas $S_{0:1}$ remanentes, las cuales se mezclan en proporciones iguales para constituir una mezcla balanceada que

será sembrada en el campo. La cosecha de los granos producidos por las plantas androestériles constituirá la población seleccionada recombinada (población mejorada) como lo reportan Rangel y Neves (1997).

Para obtener un ciclo de selección recurrente con este método se necesitan cuatro cultivos (uno para la siembra y selección de las unidades de selección, uno para el avance de la generación $S_{0:1}$, uno para la evaluación de las descendencias de las unidades de selección $S_{0:2}$ y uno para la recombinación de las mejores unidades de selección). En el caso de tener solo la posibilidad de un cultivo al año, y para adelantar el proceso, se puede cultivar la generación $S_{0:1}$ y hacer la recombinación fuera de la época normal de cultivo, en otros sitios.

Utilizando este método Rangel *et al.* (1998) evaluaron 162 familias $S_{0:2}$ precoces de la población CNA-IRAT 4PR/1/1 y de ciclo medio de la CNA-IRAT 4ME/1/1, con el objetivo de incrementar el potencial productivo del arroz de riego. Las evaluaciones se realizaron en varios sitios y se estimaron: varianzas genéticas, coeficientes de variación genética, heredabilidad, correlaciones y ganancias esperadas. Los resultados presentaron producciones medias de las familias $S_{0:2}$ precoces y de las de ciclo medio de 4649 y 4514 kg-ha⁻¹, respectivamente. Dentro de las precoces se encontraron seis familias con producciones superiores a los 6000 kg-ha⁻¹ y dos familias, dentro del segundo grupo, rindieron más de 7000 kg-ha⁻¹. Los coeficientes de variación tanto para los precoces, como para los de ciclo medio, en rendimiento de grano, fueron de 10.4 y 11.0%, respectivamente, valores encontrados en ensayos de arroz..

Basados en estos resultados los autores concluyeron que un sólo ciclo de selección fue suficiente para cambiar positivamente las medias de la población mediante esta metodología.

Resultados similares fueron hallados por Rodríguez *et al.* (1998), evaluando el potencial de la población CNA-1 para fines de mejoramiento. El porcentaje de granos llenos y el peso de mil granos presentaron correlaciones fenotípicas elevadas con el rendimiento de grano, y se obtuvo una ganancia por ciclo de selección de 12%, también se obtuvieron incrementos favorables para la resistencia a la enfermedad Piricularia en las hojas. Estos resultados abrieron la posibilidad de mejorar la población para dos características simultáneamente.

3.2.2. Selección Recurrente Basada en Familias $S_{0:1}$

El procedimiento es similar al anterior, sólo que se evalúan las descendencias de las unidades de selección en primera generación de autofecundación ($S_{0:1}$). Para este esquema se presenta el trabajo realizado por Filippi y Prabhu (1997) para obtener resistencia parcial a Piricularia en las hojas. Este estudio se realizó tanto en invernadero como en campo. La etapa de invernadero se inició con la siembra de la población base CNA-IRAT 5 y los 27 progenitores que se introducirán en la población para desarrollar la resistencia parcial (RP) a Piricularia en las hojas.

Después de haber realizado diferentes evaluaciones y basados en una serie de inoculaciones, se identificó el aislamiento ECJ5P¹–88 como el más agresivo, se tomó una muestra de la población CNA-IRAT 5 representada por 3000 plantas, y se realizaron tres inoculaciones con el aislamiento, con el objetivo de eliminar todos los genes mayores que condicionaban la resistencia a aislamientos diferentes del escogido y se seleccionaron plantas con RP, susceptibles (S) y altamente susceptibles (AS) y aquellas que presentaron reacción de resistencia (R) e hipersensibilidad (RH) se eliminaron. Las plantas seleccionadas se recombinaron utilizando el gen de androesterilidad presente en el germoplasma, para constituir una nueva población, y en ella se realizó un nuevo ciclo de selección con el mismo procedimiento utilizado inicialmente, se escogieron 107 familias S_{0:1}; y se evaluaron por su reacción a *Piricularia* en las hojas con el mismo aislamiento y con la misma metodología. El remanente de las semillas de las familias RP, S y AS se recombinaron originando una nueva población denominada CNA-IRAT 9 (ciclo 1). La nueva población desarrollada fue sometida al esquema anteriormente descrito a nivel de invernadero con el objetivo de seleccionar plantas con RP. Estas plantas seleccionadas se recombinaron para dar origen a la población mejorada P₁ (ciclo 1). Se desarrollaron cinco ciclos con esta metodología originando las poblaciones P₂ (ciclo 2), P₃ (ciclo 3), P₄ (ciclo 4) y P₅ (ciclo 5).

Otro estudio fue el realizado por Ferreira *et al.* (2000) quienes evaluaron la población CNA-8 para resistencia a plagas, específicamente el mión de las pasturas, utilizando una muestra de 70 familias S_{0:1}, la cual fue sometida a infestación artificial de *Deois flavopicta* en casa de malla. Se presentaron

diferencias significativas entre los tratamientos más resistentes y los más susceptibles. Otro dato relevante fue que se presentaron 15 familias con supervivencia superior en valor absoluto al mejor testigo, los coeficientes de variación experimental fueron muy altos y esto hizo que no se pudieran detectar diferencias significativas.

Evaluando esta misma población para determinar el potencial genético para un programa de selección para resistencia al barrenador del tallo, Ferreira Jr *et al.* (1998) probaron 60 familias $S_{0:1}$ con testigos resistentes y susceptibles en condiciones de casa de malla con infestación artificial. De este estudio se concluyó que es posible extraer líneas superiores de la población, ya que se halló el 52.4% de la heredabilidad estimada en función de las medias de las familias, al mismo tiempo concluyen que la población CNA-8 presenta variabilidad genética para resistencia al barrenador del tallo, el mión de las pasturas y otros como termitas y rizófagos por estudios ya determinados.

3.2.3. Selección Recurrente Masal en Ambos Sexos

La utilización de esta metodología sólo es posible cuando la característica bajo selección se expresa antes de la floración de las plantas. La estrategia utilizada requiere que se evalúen y se seleccionen las plantas en el estado vegetativo. Después de la selección, sólo permanecerán en el campo las plantas que fenotípicamente cumplan con los criterios deseados y en el momento de la floración se intercruzarán para obtener la recombinación de los genotipos seleccionados. Se cosecharán de manera individual las plantas

androestériles fecundadas de la población, lo que representa un ciclo de recombinación. Se mezclarán en proporciones iguales las semillas, de tal manera que las unidades de selección escogidas aporten a la nueva población en igual proporción. En este esquema, las plantas seleccionadas, tanto las fértiles (padres) que fecundarán las androestériles como las plantas androestériles (madres), serán las unidades de selección y a su vez de recombinación (Châtel y Guimarães, 1995).

El trabajo realizado por Ospina *et al.* (2000) en selección recurrente para Piricularia en las hojas y para el virus de la Hoja Blanca (VHB) es un ejemplo de como mejorar poblaciones utilizando la selección masal y plantas S_0 como base. El estudio se llevó a cabo en las poblaciones de arroz de secano PCT-5\0\0\0, PCT-A\0\0\0 y PCT-4\0\0\1. Estas poblaciones fueron sometidas a evaluación y selección para Piricularia en las hojas y VHB, simultáneamente. En cada población se evaluaron 2500 plantas S_0 . Durante el estado vegetativo y hasta poco antes de la floración las plantas que presentaban sensibilidad a Piricularia en las hojas y VHB fueron eliminadas de la parcela (sin poder saber si eran fértiles o androestériles, pues la identificación del sexo se hace sólo al momento de la floración). Se cosecharon las plantas androestériles que presentaban buenas características agronómicas generales. La semilla producida por estas plantas androestériles sanas, es el resultado de la fertilización por polen de plantas fértiles sanas presentes en el grupo de plantas cercanas entre ellas por la disposición del material en el campo para favorecer la polinización. Cada año se realizó este proceso de la misma forma avanzando hasta el tercer ciclo de selección. Los resultados obtenidos

mostraron que para Piricularia en las hojas fue efectiva la selección en ambos sexos, eliminándose 47.8% (PCT-5), 35.3% (PCT-A) y 42.7% (PCT-4) en sólo el primer ciclo. Para el VHB, las condiciones de presión existentes donde se realizó el estudio no fueron las ideales. Por tanto no se presentó progreso en la selección, ya que el avance en cada ciclo no fue muy consistente para la selección de esta característica.

Otro trabajo realizado con selección masal en ambos sexos en arroz fue el desarrollado por Borrero *et al.* (2000) sobre resistencia al VHB, utilizando las poblaciones de arroz de riego PCT-6, PCT-7, PCT-8 y GPCT-9. Cada población se representó con cerca de 4000 plantas S_0 . A los 15 días después de la siembra se liberaron los insectos adultos de sogata (insecto transmisor del virus) con un promedio de 72% de virulencia para los dos ciclos de evaluación. A los 35 días después de la infestación se evaluaron las plantas y aquellas que no presentaron síntomas al VHB fueron trasplantadas al sitio definitivo para ser monitoreadas nuevamente.

Los resultados obtenidos en las poblaciones originales, mostraron niveles bajos de resistencia, que oscilaron entre 8 y 19% del total de las plantas. Después del trasplante de las plantas sanas, las plantas androestériles de cada población sin síntomas al VHB se utilizaron para obtener el primer ciclo de selección recurrente. Teniendo los cuatro germoplasmas mejorados con un ciclo de selección recurrente, se evaluaron de nuevo al VHB con la misma metodología. De esta evaluación se obtuvieron incrementos en la PCT-6 y PCT-8 en un 6% y el en GPCT-9 aumentó en un 8%, mientras que la PCT-7 se

mantuvo en los mismo porcentajes de resistencia. Para el ciclo dos de selección recurrente utilizando el mismo esquema se evaluaron solamente la PCT-7 y la PCT-8, las cuales mostraron incrementos muy significativos del número de plantas resistentes (79 y 84% para PCT-7 y PCT-8, respectivamente). Los autores concluyeron que las ganancias discretas obtenidas (población con un ciclo de selección comparada con la original) debían irse incrementando gradualmente o que quizás se estabilizaran a medida que avanzaran los ciclos.

Para explicar los resultados del ciclo dos de selección se planteó que una generación de selección y una recombinación puede no haber sido suficientes para permitir romper y reacomodar los genes favorables para esta característica.

3.2.4. Selección Recurrente Masal en un Sólo Sexo

En contraste con la metodología mencionada anteriormente, aquí sólo se escogen plantas fértiles S_0 según los objetivos del programa de mejoramiento. Estas plantas son las unidades de selección que más adelante se recombinarán. Cuando se emplea esta alternativa, se escogen las mejores plantas fértiles ($MsMs$ y $Msms$ o sólo $Msms$ dependiendo del origen de la población S_0) y se cosechan individualmente, luego se toman cantidades iguales de semilla de cada planta y se mezcla proporcionalmente para la recombinación. Se siembra la mezcla, la cual presenta los genotipos $MsMs$, $Msms$ y $msms$, las plantas androestériles ($msms$) serán fecundadas por el

polen *Ms* o *ms*, la mezcla de la semilla cosechada en las plantas androestériles será la base de la población mejorada. La investigación realizada por Morais *et al.* (1997) muestran la utilización de esta metodología. Los autores utilizaron la población CNA-IRAT 5, sometida a dos ciclos de selección recurrente para tipo de grano, con el objetivo de tener el tipo comercial largo y delgado. Para las dos características se lograron resultados significativos, en la población original los granos inicialmente estaban clasificados en los grados 7 y 8, actualmente se encuentran entre 4 y 5, considerando el tipo 4 o inferiores como largo y delgado.

Los autores también evaluaron y seleccionaron para otros caracteres como producción de granos, altura de la planta, número de días para la floración, resistencia a la sequía en la fase vegetativa, manchado de granos, Piricularia en las hojas y en el cuello de las panículas, aunque algunas de ellas son reconocidamente de herencia poligénica y baja heredabilidad. Los resultados arrojaron una respuesta esperada para producción de granos de 63.6%; para todas las demás características evaluadas se observaron ganancias favorables, especialmente para manchado de grano (16.2%) y Piricularia en las hojas (15%) con una intensidad de selección de 16.6%. La metodología se recomienda básicamente para caracteres de baja heredabilidad.

Los ejemplos presentados, independiente de la metodología utilizada, indicó que la afirmación de Fehr (1987) y de Hallauer (1985) de que se incrementan las frecuencias de los alelos favorables para la característica deseada a

medida que los ciclos de selección de recurrencia avanzan, se confirmó en la práctica.

3.3. DESARROLLO DE POBLACIONES

Para concluir la revisión de literatura de este trabajo de tesis se describe el proceso utilizado para crear poblaciones de amplia base genética para el cultivo del arroz. Se hará énfasis en la población PCT-4\0\0\0 que es el material básico para la conducción de este estudio.

En general, las nuevas poblaciones creadas utilizan como base algunas ya existentes. Como ejemplos se menciona la PARG-3 de Argentina, donde se utilizó la PCT-8 como base (Marassi *et al.*, 2000); la PFD-1 de Venezuela, que introdujo variabilidad a la PCT-6 (Graterol, 2000); o la PFB-1 de FEDEARROZ, en Colombia, que se basó en la CNA-IRAT 4 (Corredor, 2000). Pocas son las poblaciones que fueron creadas sin utilizar otras como fuentes de gen de androesterilidad, y de “background” genético de adaptación general. Como ejemplo de esto se puede mencionar la CNA-IRAT 5, desarrollada por Taillebois y Guimarães (1989) o la población desarrollada manualmente sin el uso de un gen de androesterilidad CG-1 (Guimarães y Correa-Victoria, 1997).

La población PCT-4\0\0\0 fue creada para las condiciones de las sabanas de suelos ácidos mediante una labor colaborativa entre los programas internacionales de mejoramiento del CIAT y del CIRAD. El trabajo inicial fue escoger la población base donde se haría la introducción de nueva variabilidad

con base en estudios de progenitores adaptados a estas condiciones. Esto se utilizó en el trabajo realizado por Châtel *et al.* (1997), con las poblaciones CNA-IRAT 5, CNA-IRAT A, CNA-IRAT P y IRAT Lulu, introducidas de Brasil. La conclusión de los autores, basado en la adaptación del germoplasma a las condiciones ambientales de las sabanas Colombianas, fue que la CNA-IRAT A poseía el mayor potencial para los objetivos del proyecto colaborativo que estaban iniciando.

Una vez identificado el material básico con el gen de androesterilidad para crear la nueva población, la tarea siguiente fue identificar cuales líneas o variedades deberían ser introducidas en la población para ampliar su base genética y a su vez adicionar caracteres de interés a la región, objeto del desarrollo de la población. Los estudios llevados a cabo por Châtel *et al.* (1997) indicaron que ocho líneas (CT11231-2-2-1-4-M, CT11231-2-2-3-1-M, CT11231-2-2-2-1-2-M, CT11608-8-6-M-2-M, CT11608-9-2-1-2-M, CT6196-33-11-1-3-M, A 8-394 e IR53167-3-M) cumplían con las condiciones buscadas, es decir, presentaban precocidad, altura de planta de intermedia a baja, tolerancia a la acidez de los suelos y resistencia a las principales enfermedades especialmente piricularia y además adicionaban nueva variabilidad a la población base.

El proceso de introducción de los genes de esas líneas en la población se realizó de la siguiente manera: se sembró la CNA-IRAT A, todas las plantas androestériles de la población fueron identificadas y marcadas en el momento de la floración. Cercano a la CNA-IRAT A estaban sembradas las 8 líneas

progenitoras. Los cruzamientos fueron dirigidos de modo que cada progenitor se utilizó para polinizar varias plantas androestériles de la población base, según lo descrito por Borrero *et al.* (1997). En la maduración se cosecharon las semillas producidas por las plantas androestériles (semillas híbridas), las cuales fueron mezcladas en iguales proporciones, pero solamente aquellas que provenían del mismo progenitor, o sea, el resultado fue ocho bolsas de semillas híbridas, cada una proveniente de las plantas polinizadas por uno de los ocho progenitores. Cada uno de estos híbridos se sembró y se evaluó individualmente en la generación F_1 . Para crear la nueva población se escogieron las mejores plantas dentro de siete F_1 , descartando uno que no presentaba buen comportamiento. Las semillas F_2 de cada una de las siete combinaciones se mezclaron en diferentes proporciones, como lo indican Châtel y Guimarães (1995). Se sembró la mezcla y se cosechó la semilla producida en las plantas androestériles lo que representa la primera recombinación.

La creación de la población PCT-4\0\0\0 es un buen ejemplo de una de las estrategias de formación de una nueva población en arroz. Borrero *et al.* (1997) presentan varias alternativas para el manejo de estos materiales en el campo y Châtel y Guimarães (1995) indican como sacar provecho del gen de androesterilidad para crear distintos tipos de poblaciones, como por ejemplo, monocitoplasmática, policitoplasmática, etc.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Se van a describir con detalles las etapas seguidas para la obtención de los materiales utilizados en este estudio y la metodología experimental que posibilitó obtener los resultados que se discutirán más adelante. Se describirá la localización de los ensayos, el análisis de suelo del campo experimental, como se escogieron los materiales utilizados, el diseño y el modelo estadístico, el manejo agronómico y las informaciones colectadas.

4.1. LOCALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS Y ANÁLISIS DE SUELO

El trabajo se llevó a cabo en la estación experimental de La Libertad (EELL), localizada en Villavicencio, departamento del Meta, Colombia, durante el primer semestre de 1999 (mayo a agosto). El sitio está localizado en suelos de los ordenes Oxisol y Ultisol, según el “Key to Soil Taxonomy”, con características típicas de una formación debida a condiciones de temperatura alta y continua, a excesos de humedad en la época lluviosa, y a una alta concentración de óxidos de hierro (Fe) y aluminio (Al). El alto grado de acidez en el suelo (más del 60%) lo origina la continua pérdida de minerales esenciales de fácil intemperismo causado por la lixiviación. Estos suelos presentan deficiencias de elementos como fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg), calcio (Ca), azufre (S) y en algunas ocasiones zinc (Zn). Sin embargo físicamente son suelos bien estructurados que requieren manejo cuidadoso por ser susceptibles a procesos de compactación y erosión (Rippstein *et al.*, 2001).

Los resultados del análisis de suelo correspondiente al primer semestre de 1999, en la EELL, donde se condujo el estudio, se presentan en la Tabla 1. Se observa que el contenido de materia orgánica (M.O.) es de medio a alto, siendo mayor en los primeros 20 cm de los dos suelos y los contenidos de P son de medios a altos. El pH es ácido y los contenidos de Ca, Mg y K también son altos comparados con los suelos de esta zona, como lo presenta Rippstein *et al.* (2001) en la Tabla 2, que son resultados de análisis de muestras tomados en varios sitios de la Altillanura Colombiana. Estos valores altos, del sitio donde se desarrolló el estudio, se pueden atribuir al efecto de encalamiento y cosechas anteriores. Sin embargo, como sugiere Amézquita *et al.* (2000), la movilidad de estos elementos en el perfil es baja y se los mantiene en el horizonte superficial.

Tabla 1. Análisis de suelo del sitio donde se sembraron los ensayos discutidos en este trabajo. Estación experimental La Libertad, primer semestre 1999, Villavicencio, Meta, Colombia.

No. Muest.	Prof. (cm)	M.O (%)	P	PH	Al	Ca	Mg	K	C.I.E	B	Zn	Mn	Cu	Fe	Sat.	
			Bray II (ppm)												Al (%)	
Meq./100 g																Ppm
1	0-20	3.6	13.1	4.7	3.12	0.62	0.38	0.21	3.55	0.17	0.36	6.86	0.44	17.86	72.1	
	20-40	2.8	2.8	4.9	3.22	0.20	0.23	0.10	3.06	0.41	0.21	5.15	0.37	10.30	86.0	
2	0-20	4.2	7.6	4.7	3.22	0.54	0.30	0.16	3.25	0.27	0.28	6.90	0.40	15.05	76.5	
	20-40	3.0	1.8	4.9	2.97	0.22	0.22	0.06	2.75	0.18	0.17	4.22	0.32	7.61	87.7	

No. Muest. = Número de muestras colectadas; Prof. (cm) = Profundidad en centímetros

En lo referente al porcentaje de saturación de Al se observan valores altos, superiores al 70%, los cuales son tóxicos para la mayoría de los cultivos, pero excelentes para el desarrollo de este estudio, ya que estas poblaciones fueron creadas para estas condiciones de acidez y se ha venido evaluando en porcentajes de saturación de aluminio altas. La saturación de Mn y Fe también

son altas, evidenciando presencia de óxidos de Fe; la CIC es baja, y está correlacionada con la caolinita, arcilla dominante en el complejo de cambio de los suelos de sabana (Amézquita, 2000).

Tabla 2. Propiedades texturales y químicas de algunos suelos en la Altillanura plana del Centro Nacional de Investigación (CNI) de Carimagua manejado por ICA/CIAT, en Meta, Colombia.

Elementos	Sabana húmeda y bajos húmedos	Sabana seca y bajos secos	Sabana seca y Altillanura ondulada	Sabana húmeda y bajos húmedos
M.O.	4.0	1.8	0.9	5.1
P (ppm)	3.7	1.2	0.9	1.4
PH	4.5	4.6	4.7	4.6
Al (meq/100g)	2.3	1.6	1.4	4.2
Ca (meq/100g)	0.1	0.1	0.1	0.1
Mg (meq/100g)	0.1	0.1	0.1	0.1
K (meq/100g)	0.1	0	0.1	0.1
B (ppm)	0.1	0.1	0.2	0.2
Zn (ppm)	1.0	0.3	0.3	0.4
Mn (ppm)	2.8	1.2	0.4	2.5
Cu (ppm)	0.1	0.3	0.2	0.2
Fe (ppm)	57.0	72.0	52.8	46.6

Fuente: Rippstein *et al.* (2001)

4.2. MATERIAL EXPERIMENTAL

Para este trabajo se utilizaron líneas $S_{0:1}$ (es decir, semilla S_1 proveniente de plantas S_0) de la población PCT-4 de arroz de secano de amplia base genética, desarrollada para las condiciones de suelos ácidos, donde se introdujeron siete líneas que aportarían precocidad, como se observa en la Tabla 3 donde los valores de floración oscilan entre 65 a 91 días de floración, con un promedio de 76 días, una buena tolerancia a enfermedades con valores entre 1 y 3 que son considerados tolerantes, al igual que la acidez y promedios de altura de plantas relativamente bajos. Estas líneas fueron introducidas en la población CNA-IRAT A, utilizada como población base y la cual provino del programa de mejoramiento de arroz de Embrapa, Brasil. La población está

segregando para un gen recesivo de androesterilidad, necesario para la obtención de la recombinación natural de todos los genotipos constituyentes de la misma.

Tabla 3. Características de las variables evaluadas en las siete líneas utilizadas como padres para la composición de la población PCT-4\0\0\0.

Línea	Característica ¹								
	Vg	BI	BS	LSc	FI	NBI	Gd	Ht	AC
CT6196-33-11-1-3-M	5	5	1	3	91	1	3	60	1
CT11231-2-2-1-4-M	7	3	1	1	78	1	1	52	1
CT11231-2-2-3-1-M	5	3	1	1	78	1	1	57	1
CT11231-2-2-2-1-2-M	5	3	1	1	78	1	1	50	1
CT11608-8-6-M-2-M	3	1	1	3	78	1	1	78	3
IR53187-3-M	5	3	5	1	69	1	1	59	3
A 8-394-M	3	3	1	1	65	3	1	60	3

¹ Vg = vigor de la planta; BI = Piricularia en las hojas; BS = Helminthosporium; LSc = Escaldado; FI = número de días a 50% de la Floración; NBI = Piricularia en el cuello de la panícula; Gd = Manchado del grano; Ht = altura de planta en cm; AC = reacción a la acidez.

Fuente: CIAT (1994).

Cada una de las siete líneas se combinaron con la población base CNA-IRAT A, esto permitió obtener siete combinaciones o siete generaciones F₁. Estos híbridos se sembraron en la Estación Experimental del CIAT, en Palmira (EEP) y cada F₁ fue evaluada individualmente. En esta etapa se obtuvieron las semillas F₂ de cada combinación, en la EEP, las cuales se mezclaron en diferentes proporciones, como se observa en la Tabla 4, donde esta la composición genética de la nueva población básica PCT-4\0\0\0.

Tabla 4. Descripción y frecuencia de los progenitores que intervinieron en la composición genética de la población básica PCT-4\0\0\0.

Progenitor	Origen/Cruzamiento	Frecuencia (%)
CT6196-33-11-1-3-M	Línea de secano del CIAT	8.33
CT11231-2-2-1-4-M	Línea de secano del CIAT	4.17
CT11231-2-2-3-1-M	Línea de secano del CIAT	4.17
CT11231-2-2-2-1-2-M	Línea de secano del CIAT	8.33
CT11608-8-6-M-2-M	Línea de secano del CIAT	8.33
IR53167-3-M	Línea de secano del IRRÍ ¹	8.33
A 8-394-M	Germoplasma de Brasil	8.33
CNA-IRAT A	Población japónica	50.0

¹ IRRÍ es el acrónimo de "International rice Research Institute", Los Baños, Filipinas.

Fuente: CIRAD -CIAT -FLAR (1997).

Para que se pueda tener idea del origen de los genes presentes en la PCT 4\0\0\0 se presenta en la Tabla 5 los progenitores que hacen parte de la población CNA-IRAT A, fuente de la androesterilidad y de la variabilidad genética, a demás de la población CNA-IRAT 5 , que es de donde se desarrolló la población CNA-IRAT A y a la cual se le introdujo la nueva variabilidad de las siete líneas para la sintetización de la población PCT-4, objeto del presente estudio.

Tabla 5. Descripción y frecuencia de los progenitores que intervinieron en la composición genética de las poblaciones base CNA-IRAT 4 y CNA-IRAT 5.

Progenitor	Origen/Cruzamiento	Frecuencia (%)
CNA-IRAT A Población Japónica		
IRAT 104	IRAT 13/Moroberekan	6.25
53/2	IRAT 2/IAC 25	12.50
IRAT 257	Mutante de Ma kouta	6.25
Batatais	Germoplasma de Brasil	6.25
Batatais 1	Germoplasma de Brasil	6.25
IRAT 199	Cuttack 4/IRAT 104	6.25
Ligero	Germoplasma de Brasil	6.25
CNA-IRAT 5	Población Japónica	50.0
CNA-IRAT 5 Población Japónica		
Beira Campo	Germoplasma de Brasil	5.39
CNA 4097	IRAT 2/IAC 25	5.39
CNA 4145	IAC 47/Kinandong Padong	5.39
IRAT 177	Mutante de IRAT 79	5.39
IREM 41-1-1-4	Mutante de Makouta	5.39
Palha Murcha	Germoplasma de Brasil	5.39
Tox 1011-4-2	IRAT 13/DP689/TOx 490-1	5.39
CNA 5171	IAC 47/IRAT 13	2.69
Casca Branca	Germoplasma de Brasil	0.84
CNA 5179	IAC 47/IRAT 13	0.84
CNA 770187	Germoplasma de Brasil	0.84
Comum Criolo	Germoplasma de Brasil	0.84
Jaguary	Germoplasma de Brasil	0.84
L 13	Germoplasma de Brasil	0.84
L 81-24	IAC 209/Jaguary//IRAT 10	0.84
Santa América	Germoplasma de Brasil	0.84
Cuiabana	IAC 47/SR2041-50-1	8.10
IRAT 237	IAC 25/RS 25	6.73
IAC 165	Dourado Precoco/IAC 1246	2.69
IREM 247	Mutante de IAC 25	2.50
IAPAR 9	Batatais/IAC F3-7	1.57
IRAT 112	Dourado Precoco/IRAT 13	1.47
CNA 4135	IAC 47/IRAT 2	1.36
IREM 238	P J110/IAC 25	1.35
Arroz de Campo	Germoplasma de Brasil	1.25
CA 435	Germoplasma de África	0.84
Palawan	Germoplasma de Asia	12.50
IR36	Mutante androestéril	12.50

Fuente: CIRAD -CIAT -FLAR (1997).

Las semillas de la generación F_2 de los siete cruzamientos, se cosecharon y se mezclaron, en proporciones diferentes. Para esto se utilizó como criterio el origen genético de cada línea y su capacidad de combinación como progenitor (Châtel y Guimarães, 1995). La mezcla se sembró en el campo y al momento de la floración se observó la segregación entre plantas fértiles y androestériles. Se realizó la cosecha de los granos producidos por las plantas androestériles para dar origen a la población base con una recombinación identificada como PCT-4\0\0\1, según la nomenclatura sugerida por Châtel y Guimarães (1998). Para este estudio el material vegetal utilizado se conformó por líneas $S_{0:1}$ extraídas de: a) la población original PCT-4\0\0\0 y b) la población después de haber realizado una recombinación y un ciclo de selección para suelos ácidos, seguido de uno y dos ciclos de recombinación después de ciclo de selección recurrente, identificados respectivamente como PCT-4\SA\1\1, PCT-4\SA\2\1 y PCT-4\SA\3\1.

Las poblaciones se sembraron en la EEP en el segundo semestre del año 1998 (octubre a marzo) y se eligieron, al azar, 44 plantas fértiles S_0 (semillas $S_{0:1}$), como representación de cada una de las cuatro poblaciones. Para la siembra de la población PCT-4 original se tomaron plantas al azar, al igual que para las demás, sólo que estas plantas son provenientes de poblaciones que ya sufrieron un proceso de selección para la adaptación de materiales a la acidez del suelo, resistencia a enfermedades, principalmente *Piricularia* y VHB, resistencia a plagas, principalmente a *Tagosodes oryzae* Muir, buena calidad de grano y precocidad (Figura 1).

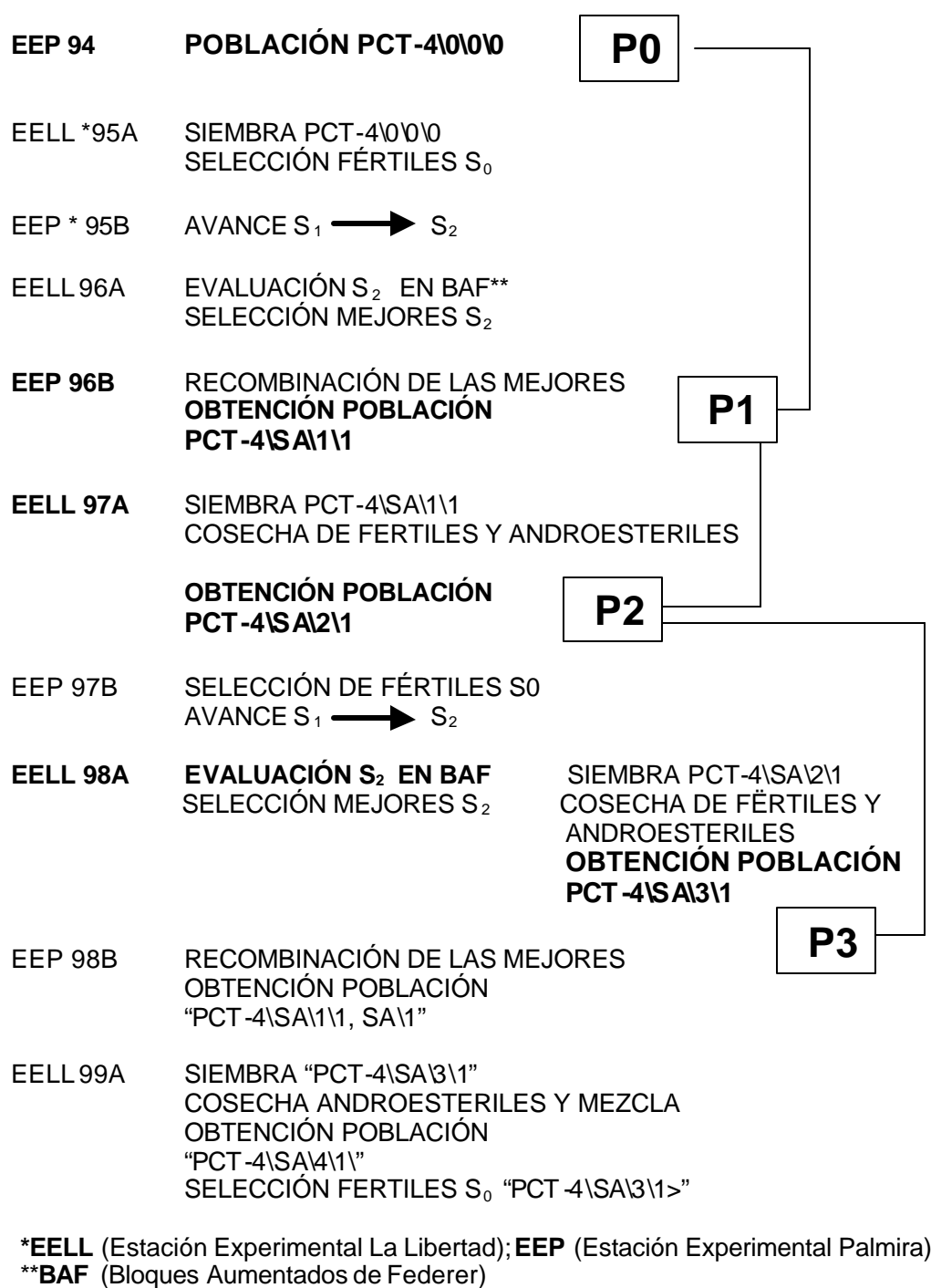


Figura 1. Flujo de poblaciones desarrolladas para éste estudio

4.3. DISEÑO Y MODELO ESTADÍSTICO

La semilla $S_{0:1}$ de las 44 plantas S_0 tomadas al azar se sembraron para dar origen a 44 líneas $S_{0:1}$ de cada población. Para las cuatro poblaciones: PCT-4\0\0\0 (P0), PCT-4\SA\1\1 (P1), PCT-4\SA\2\1 (P2) y PCT-4\SA\3\1 (P3), se sembraron 176 líneas, más seis testigos (Anexo 1), tres tolerantes (Grupo *japonico* - J: Oryzica Sabana 6, Oryzica Sabana 10 y CIRAD 409) y tres susceptibles a la acidez (Grupo *indica* - I: CICA 8, CICA 9 y Oryzica Llanos 5). Los testigos se repitieron tres veces, mientras que las líneas, debido a la poca disponibilidad de semilla (semilla $S_{0:1}$ proveniente de una sola planta S_0), fueron utilizadas sólo una vez. Las líneas $S_{0:1}$ se consideran como muestras aleatorias de cada población.

La disposición espacial de los testigos y de las líneas fue completamente al azar. Todo el esquema anterior se realizó en cada uno de dos ambientes caracterizando la acidez del suelo y constituido por la aplicación de 300 kg-ha^{-1} y 3000 kg-ha^{-1} de cal dolomítica, escogidos con el ámbito de tener ambientes contrastantes. Los 300 kg-ha^{-1} , es lo que usualmente se aplica en los ensayos que conduce el proyecto y que se realiza como adición de fertilización Ca y Mg, no para corregir acidez. Cada ambiente estuvo constituido por un área de 627 m^2 (19x33 metros), donde se ubicaron los 182 genotipos en 194 parcelas (44 líneas x 4 poblaciones más los 6 testigos repetidos tres veces). Cada parcela estuvo conformada por 2 surcos de 5 m de largo, espaciados a 0.26 m, con una densidad de siembra de 6 gramos de semilla por parcela. La siembra se realizó con máquina sembradora de precisión modelo "Almaco".

El modelo estadístico para el análisis dentro de cada uno de los ambientes consideró las siguientes fuentes de variación:

Categoría (Fijo): Testigos y Líneas

Población (Fijo): En los Testigos: Grupo J (japonica) y Grupo I (indica).

En las Líneas: P0, P1, P2 y P3

Línea (Aleatorio): Grupo J y Grupo I

El modelo para el análisis de varianza en cada ambiente es:

Fuente de Variación (F.V.)	Grados de libertad (Gl)	
1.Categoría	1	} 181
2.Población (Categoría)	4	
3.Líneas (Población (Categoría))	176	
4.Error rep (Líneas (Población (Categoría)))	12	
Total	193	

El término del error para las pruebas de hipótesis sobre los términos 1 y 2 es el 3; para pruebas de hipótesis sobre 3, es el término 4.

Modelo del análisis combinando los dos ambientes:

Fuente de Variación (F.V.)	Grados de libertad (Gl)	
1.Ambiente	1	} 181
2.Categoría	1	
3.Población (Categoría)	4	
4.Líneas (Población(Categoría))	176	
5.Ambiente x Categoría	1	} 181
6.Ambiente x Población (Categoría)	4	
7.Ambiente x Línea (Población (Categoría))	176	
8.Error rep (Ambiente*Línea(Población(Categoría)))	24	
Total	387	

El término del error para las pruebas de hipótesis sobre los términos 2 y 3 es el 4; para pruebas de hipótesis sobre 1, 5 y 6 es el término 7.

El análisis individual por ambiente se tuvo en cuenta al evaluar las interacciones de los factores con el ambiente en el análisis combinado, para cualquiera de los factores, o sea, “ambiente*categoría”, “ambiente*población (categoría)” o “ambiente*línea (población (categoría))”.

Teóricamente se espera en las líneas un 25% de androesterilidad, ya que se cuenta con un gen recesivo para esta característica, por lo tanto las variables rendimiento y peso en gramos de las semillas obtenidas, corresponden sólo al 75% de plantas fértiles. Los testigos están constituidos en su totalidad de plantas fértiles homocigotas. Con el propósito de hacer una comparación entre los testigos y las líneas se efectuó un ajuste para compensar el efecto de la androesterilidad sobre las líneas, lo que corresponde a la expresión:

Una Línea (L1) → produce 75%

X → 100%

$$X = L1 \times 100/75 = L1/75 = 1.33 \times L1$$
 (1.33 es la corrección multiplicada por la línea L1).

Para los análisis de las variables se, utilizó el paquete estadístico SAS Institute Inc. (1988) versión 6.12. En los casos donde hubo significancia, la separación de medias se hizo mediante la prueba de comparación múltiple de Ryan (1959, 1960), Eniot and Gabriel (1975) Welsch (1977), nombrada en los análisis como REGWQ.

Las poblaciones también se analizaron en función de la variable reacción a la acidez, la cual se realizó en forma ordinal. La independencia entre las

poblaciones y las categorías respectivas de cada una de las variables fue probada con X^2 (chi cuadrado).

Los promedios de cada población y de los testigos en cada ambiente obtenidos de las diferentes variables evaluadas, se ponderaron al realizar la comparación entre poblaciones y testigos, ya que provienen de diferente número de individuos evaluados (44 por cada población y 18 por cada testigo).

4.4. MANEJO AGRONÓMICO

El manejo agronómico se llevó a cabo de igual forma como se desarrollan las actividades del proyecto arroz en la EELL, o sea, la preparación del suelo se efectuó con un pase de cincel en un sólo sentido y un pase de rastra antes de encalar; la aplicación de la cal se realizó un mes antes de la siembra del ensayo y se realizó manualmente al voleo distribuida uniformemente, y se incorporó con un pase liviano de rastrillo.

La fertilización se realizó en la presembrado, con 60 kg-ha^{-1} de P_2O_5 , utilizando como fuente superfosfato triple (SPT); 60 kg-ha^{-1} de K_2O , fuente cloruro de potasio (KCl) y 60 kg-ha^{-1} de N, utilizando como fuente Urea. La incorporación se realizó con un pase de rastrillo liviano. A los 20 días después de la siembra, se aplicaron 30 kg-ha^{-1} de K_2O y 30 kg-ha^{-1} de N, los 60 kg-ha^{-1} de N restantes se aplicaron a los 35 y 45 días después de la siembra para un total de 90 kg-ha^{-1} de N.

El control de malezas se efectuó químicamente, realizando una aplicación de Roundup (360 gramos de sal isopropilamina de ácido glifosato por litro) un mes antes de la siembra como control previo de malezas. Después de la siembra de los materiales se aplicó un herbicida posemergente temprano con Basagran (Bentazol) y Propanil (Propanil) con dosis de 3 l/ha para cada producto.

4.5. EVALUACIONES

Las evaluaciones de la reacción a la acidez (AC), se realizaron a los 48 y 60 días después de la siembra (dds), en una muestra de 40 plantas individuales, marcadas al azar dentro de cada línea. Las evaluaciones se realizaron utilizando la escala estándar de evaluación del IRRINGER (1996), la cual propone, para AC los grados 1, 2, 3, 4 y 5 (Anexo 3). Para la altura de planta (Ht) en centímetros, se escogieron 10 plantas fértiles individuales. Las características, número de días a la floración del 50% de las panículas (FI) y rendimiento de granos (RDTO) en kg/parcela, se evaluaron considerando toda la parcela. Los datos de postcosecha como peso de los mil granos (P1000), peso de las 10 panículas (PESO10PA), número de tallos por metro cuadrado (TALLOSM2), número de panículas por metro cuadrado (NPANM2) y peso en gramos de las semillas (PESOGSEM), se realizaron en una muestra colectada en un metro lineal; el número de granos llenos (GRLLENOS) y el número de granos vacíos (GRVACIOS), se realizaron en una muestra de 10 panículas.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentarán y se discutirán los resultados y los análisis de varianza realizados para cada una de las variables evaluadas, reacción a la acidez (AC), número de días a la floración del 50% de las panículas (FI), rendimiento de granos (RDTO), peso de las 10 panículas (PESO10PA), número de granos llenos (GRLENOS) y número de granos vacíos (GRVACIOS), altura de planta (Ht), número de tallos por metro cuadrado (TALLOSM2), número de panículas por metro cuadrado (NPANM2), peso en gramos de las semillas (PESOGSEM) y peso de los mil granos (P1000).

Basado en los resultados de los análisis de varianza, las variables evaluadas formaron dos grupos, uno que no presentó interacción con el ambiente es decir no fue significativo “ambiente*categoría”, y permiten realizar la comparación múltiple de promedios prueba REGWQ de manera global; son ellas: FI, RDTO, PESO10PA, GRLENOS Y GRVACIOS. El otro grupo conformado por las características Ht, TALLOSM2, NPANM2, PESOGSEM y P1000 fueron afectadas significativamente por el ambiente, hubo interacción en “ambiente*población (categoría)” y Ambiente x Línea (Población (Categoría)) por tanto la REGWQ se hizo por separado, considerando cada uno de los dos ambientes. La Tabla 6, nos permite ver la separación de estos grupos, con el nivel de significancia en los análisis de varianza combinando los dos ambientes. La significancia fue con un nivel de 0.01.

Tabla 6. Nivel de significancia en los análisis de la varianza combinando los dos ambientes para cada una de las variables evaluadas.

Fuente de Variación ¹	Característica ²									
	FL	RDTO	PPA	GL	GV	HT	TAM	PAM	PSEM	P1000
1.Ambiente	**	**	**	ns	ns	**	ns	ns	ns	**
2.Categoría	**	**	**	ns	ns	**	ns	ns	**	**
3.Población (Categoría)	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
4.Líneas [Población (Categoría)]	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
5.Ambiente x Categoría	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**
6.Ambiente x Población (Categoría)	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	**	**	*
7.Ambiente x Línea [Población (Categoría)]	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	**	**	ns
C.V. (%)	2.7	15.8	15.4	15.7	11.5	4.0	16.1	14.1	21.1	3.6

¹ El término del error para las pruebas de hipótesis sobre los términos 2 y 3 es el 4; para pruebas de hipótesis sobre 1, 5 y 6 es el término 7.

² ** los valores fueron significativos a 1% de probabilidad; * los valores fueron significativos a 5% de probabilidad; ns los valores no fueron significantes.

5.1. REACCIÓN A LA ACIDEZ (AC)

Se realizaron dos evaluaciones en épocas diferentes. Sin embargo, como no presentaron variaciones en los grados con respecto a las dos épocas, sólo se consideró la primera evaluación, que se realizó a los 45 dds, época donde se consideran si las líneas reaccionan a la acidez, los 60 dds es para ratificar si hay un efecto tardío. La prueba con chi cuadrado (Anexo 2) muestra que la distribución de las líneas en las poblaciones se concentró en los grados 1 y 3 considerados tolerantes a la reacción de la acidez, sin embargo, presentó variación significativa, cuando se compararon los resultados obtenidos y los esperados dentro de estos grados 1 y 3.

Como la distribución se concentró entre los grados considerados de tolerancia, esto no permite sacar conclusiones con respecto al efecto de la selección y de las recombinaciones para esa característica. Sin embargo, se puede apreciar

que entre los grados de evaluación, en el 1 están predominando individuos de la población P0 seguido de la P2, por encima de los valores esperados. En el grado 2, el mayor número de individuos lo aportó la P3 y las otras poblaciones se comportaron igual. La P1 en el grado 3 fue la de mayor número de individuos presentados y la P0 y la P3 fueron los de menor número de individuos en este grado. Hay que resaltar que estas poblaciones fueron desarrolladas bajo condiciones de elevada acidez y son destinadas al ecosistema de sabana, por eso se puede entender su respuesta a valores entre 1 y 3.

Otra explicación proviene de la constitución genética, ya que la población CNA IRAT 5, que fue la base genética para desarrollar la población CNA IRAT A, y de donde proviene la PCT-4, posee un 75% de sus genes de las líneas japónicas tropicales (secano) adaptadas a los suelos con niveles de acidez elevados como lo menciona Chatel *et al.* (1997).

5.2. NÚMERO DE DÍAS A FLORACIÓN DEL 50% DE LAS PANÍCULAS (FI)

Esta variable es utilizada en los programas de mejoramiento genético de arroz para determinar el ciclo de los genotipos que se están desarrollando. Para el ecosistema de secano, algunas regiones requieren que las líneas presenten ciclo largo, pero, en general, se buscan líneas de ciclo corto, con FI alrededor de los 75 días.

De acuerdo al análisis de varianza combinado, que se presenta en el Anexo 4, se observan diferencias altamente significativas entre “ambientes*categoria” y entre “poblaciones (categoria)”. La Tabla 7 muestra la comparación de rango múltiple prueba REGWQ, notándose que las poblaciones sembradas con 3000 kg-ha⁻¹ de cal dolomítica fueron significativamente mas tardías que las de 300 kg-ha⁻¹; además hay diferencias significativas entre las cuatro poblaciones y los dos grupos de testigos.

Tabla 7. Promedios y su significancia (REGWQ) del número de días a la floración del 50% de las panículas (FI) de las líneas de cada una de las cuatro poblaciones y de los dos grupos de testigos.

Categoría	Población	Ambiente 300 kg-ha ⁻¹ Cal Dolomítica	Ambiente 3000 kg-ha ⁻¹ Cal Dolomítica	Promedio	R E G W Q
Testigos	Grupo <i>Japónica</i>	78.0	79.0	78.5	b
	Grupo <i>Indica</i>	99.3	100.9	100.1	a
	Pob. Original (P0)	76.1	76.8	76.4	c
	P1	70.5	71.1	70.8	e
Líneas	P2	73.9	74.6	74.3	d
	P3	75.4	76.3	75.8	c
	Promedio ponderado	75.3 b	76.1 a	75.7	

El promedio de los testigos del grupo *japónica*, que es el más adaptado al ambiente de suelos ácidos, indicó que estos son significativamente más tardíos que la población original (P0), que la de un ciclo de selección para suelos ácidos (P1) y las poblaciones seguidas de dos y tres recombinaciones sucesivas, respectivamente (P2 y P3). Al realizar la comparación entre poblaciones se observa que la P1 es la más precoz; que las líneas de la población P3 no presentaron diferencias significativas con las líneas de la P0; y las demás poblaciones presentaron diferencias significativas entre si.

Estos resultados están indicando que un ciclo de selección redujo la floración de las líneas. Sin embargo, en la medida que se incrementó el número de recombinaciones, se incrementó la duración media del ciclo. Hubo alteración en el ciclo de las líneas en la dirección que se deseó, con una selección se incrementó la precocidad, pero esta ganancia se disminuyó a medida en que se recombinó al azar la población. Esto puede estar indicando que no se debe hacer más de un ciclo de recombinación entre ciclos de selección recurrente, cuando se busca reducir el ciclo de floración de los genotipos. Los resultados concuerdan con los obtenidos por Marin-Garavito (1994), que no encontró diferencias a medida que aumentó las recombinaciones, sin embargo la literatura menciona que se debe hacer dos o tres ciclos de recombinación cuando se está creando la población (Hanson, 1959).

5.3. RENDIMIENTO DE GRANOS (RDTO)

Esta es una de las variables más importantes, ya que es el producto que mayor interés produce a los agricultores. Además de esto se está proponiendo el uso del método de selección recurrente para romper los techos de rendimiento encontrados en el arroz (Rangel y Neves, 1997).

En RDTO se presentaron diferencias significativas para “ambiente” y “poblaciones (categoría)” al realizar el análisis de varianza combinado (Anexo 4). La Tabla 8 muestra la REGWQ, y la población P2 que tiene dos recombinaciones, presenta el más alto RDTO, pero fue significativamente similar a P1. Como se esperaba, el menor promedio se observó para los

testigos del grupo *indica* (poco adaptados a esas condiciones), casi 35% más bajos que el grupo japónica y significativamente más bajo que las cuatro poblaciones; aunque estos presentaron el mayor número de tallos y de macollas (características morfológicas típicas de este grupo), presentaron un alto grado de esterilidad en estas condiciones de cultivo.

Tabla 8. Promedios y su significancia (REGWQ) del rendimiento de granos (RDTO) de las líneas de cada una de las cuatro poblaciones y de los dos grupos de testigos.

Categoría	Población	Ambiente 300 kg-ha ⁻¹ Cal Dolomítica	Ambiente 3000 kg-ha ⁻¹ Cal Dolomítica	Promedio	R E G W Q
Testigos	Grupo <i>Japónica</i>	2449.0	2312.4	2380.7	bc
	Grupo <i>Indica</i>	1781.1	1432.2	1616.9	d
Líneas	Pob. Original (P0)	2685.5	2356.0	2520.7	bc
	P1	2741.4	2651.4	2696.4	ab
	P2	3043.7	2861.7	2952.7	a
	P3	2449.6	2175.0	2312.3	c
	Promedio ponderado	2673.0 a	2457.0 b	2565.3	

Se observa también que entre las poblaciones se ve un aumento del rendimiento de granos en la P2 y después decae de manera significativa en la P3. Esto puede estar indicando que, para esa característica la PCT-4 sólo necesita de una recombinación después de un ciclo de selección para obtener mejores RDTO, y que la P3 presenta individuos menos rendidores, lo que hace con que el RDTO disminuya cuando se realiza una recombinación a más.

La comparación entre ambientes indica que las líneas sembradas con 300 kg-ha⁻¹ de cal dolomítica, superaron, de manera significativa, a las líneas que recibieron 3000 kg-ha⁻¹ de cal dolomítica. Estos resultados muestran la buena adaptación de la población a las condiciones de suelos ácidos, ya que fueron

creadas para este ecosistema y es donde se han venido mejorando. Se puede pensar que en el tratamiento de 3000 kg-ha⁻¹ de cal dolomítica, donde hubo menor rendimiento, posiblemente haya estado influenciado a la poca solubilidad de la cal en un solo semestre y que en el suelo se haya presentado un desarreglo de bases, pero este estudio no se llevo a cabo, así que es difícil de concluir. Al realizar la comparación de promedios individuales de cada línea dentro de cada población se puede observar que hay líneas con un potencial de rendimiento que esta superando el promedio de la población, como se observa en el gráfico 2, que presenta la frecuencia acumulada dada en porcentaje

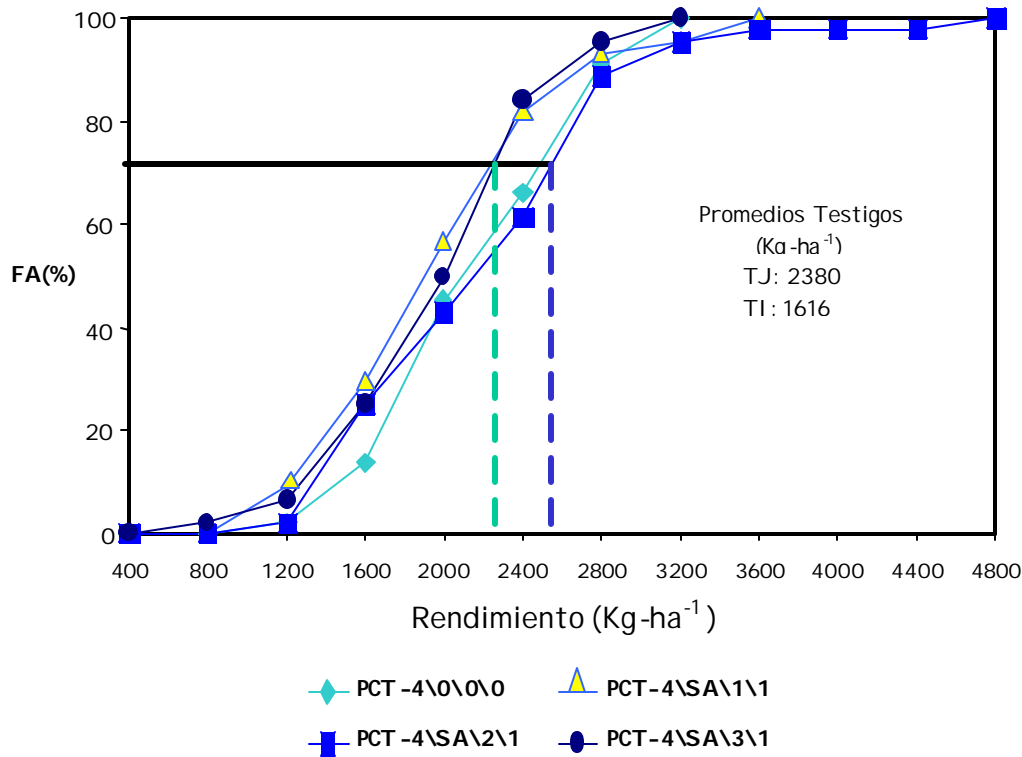


Figura 2. Distribución de frecuencias relativas acumuladas (FA) para rendimiento RDTO 300 (Kg-ha⁻¹) dada en porcentaje.

y se aprecia que al considerar la mediana, las frecuencias de las cuatro poblaciones se concentran en 2200 kg-ha^{-1} , pero al incrementar la frecuencia al 75% se dividen en dos grupos, donde la población P0 y la P2 están en 2500 kg-ha^{-1} y la P1 y la P3 se quedan cercana a la mediana.

En la población P3 el 100% de sus líneas osciló entre 400 y 3200 kg-ha^{-1} , mientras que para la P2 osciló entre 400 y 4800 kg-ha^{-1} . Esto puede estar explicando el mayor rendimiento en esta población, que dentro de ella se están detectando genotipos con un potencial muy alto que le dan peso a su promedio de la población.

Estos datos permiten concluir que contrario al observado para FL, el efecto de la selección en el rendimiento de granos de la población PCT-4 fue diferente y como hubo un efecto opuesto al pasar de dos a tres recombinaciones, no se recomienda, en ese caso que se haga más de una recombinación entre ciclos de selección recurrente para acumular genes favorables para RDTO. Estos datos también son contrarios a los estudios teóricos producidos por Hanson (1959).

5.4. PESO DE LAS 10 PANICULAS (PESO10PA)

Los resultados obtenidos de los análisis de varianza combinado para esta característica se presentan en el Anexo 4. Al igual que las dos variables anteriores, PESO10PA también presentó significancia para “ambiente” y “población (categoría)”. La Tabla 9 muestra la REGWQ donde se observa que

todas las poblaciones tuvieron el mismo comportamiento, pero difieren con respecto a los dos grupos de testigos; ninguna superó al grupo de testigos *japónica*, pero, como se esperaba, si superaron al grupo de testigos *indica*, no adaptados.

Sin embargo, la comparación entre ambientes del PESO10PA indicó que los materiales sembrados con 300 kg-ha⁻¹ de cal dolomítica, presentaron significativamente mayor peso que las líneas que recibieron 3000 kg-ha⁻¹ de cal dolomítica. Estos resultados confirman la buena adaptación de la población a condiciones de suelos ácidos.

Tabla 9. Promedios y su significancia (REGWQ) del peso de las 10 panículas (PESO10PA) de las líneas de cada una de las cuatro poblaciones y de los dos grupos de testigos.

Categoría	Población	Ambiente 300 kg-ha ⁻¹ Cal Dolomítica	Ambiente 3000 kg-ha ⁻¹ Cal Dolomítica	Promedio	R E G W Q
Testigos	Grupo <i>Japónica</i>	23.2	20.4	21.8	a
	Grupo <i>Indica</i>	11.2	10.5	10.9	c
Líneas	Pob. Original (P0)	17.8	17.3	17.6	b
	P1	16.4	16.2	16.3	b
	P2	15.9	15.8	15.8	b
	P3	16.7	15.7	16.2	b
	Promedio ponderado	16.7 a	16.2 b	16.5	

Todas las poblaciones estuvieron por debajo de los testigos del grupo *japónica*. Sin embargo, como se observaron rendimientos de granos superiores para las poblaciones (ver Tabla 9), se espera que otras características hayan compensado el no incremento del peso de las panículas. Esto se observará en las tablas siguientes para número de panículas por metro cuadrado y peso de los 1000 granos.

Los resultados permiten concluir que un ciclo de selección y dos recombinaciones después del ciclo de selección no cambiaron significativamente el PESO10PA cuando se compara a la población original. Como la selección no se hizo específicamente para esa característica, pero si para la adaptación general a los suelos ácidos, esos resultados no son sorprendidos y permiten concluir que los ciclos de recombinación que siguieron la selección no fueron efectivos en cambiar el resultado obtenido con la selección.

5.5. NÚMERO DE GRANOS LLENOS (GRLENOS)

Los resultados de los análisis de varianza combinado se encuentran en el Anexo 4, donde se observa que no hubo diferencia para las interacciones con el ambiente. En los análisis individuales se observa que hubo diferencias significativas entre el ambiente de 300 y 3000 kg-ha⁻¹ de cal dolomítica. Esta comparación indica que los materiales sembrados con 300 kg-ha⁻¹ de cal dolomítica, presentaron mayor GRLENOS. Estos resultados, como los anteriores, confirman la buena adaptación de la población a las condiciones de suelos ácidos.

Como se aprecia en la REGWQ, presentada en la Tabla 10, no hubo diferencias significativas entre poblaciones, pero si con respecto al grupo de testigos *indica* y *japónica*. Estos resultados quieren decir que no hubo efecto significativo de la selección ni de las sucesivas recombinaciones, lo que se puede esperar, ya que esa característica no fue considerada como criterio de selección.

Tabla 10. Promedios y su significancia (REGWQ) de granos llenos (GRLLENOS) de las líneas de cada una de las cuatro poblaciones y de los dos grupos de testigos.

Categoría	Población	Ambiente 300 kg-ha ⁻¹ Cal Dolomítica	Ambiente 3000 kg-ha ⁻¹ Cal Dolomítica	Promedio	R E G W Q
Testigos	Grupo <i>Japónica</i>	82.6	76.9	79.7	a
	Grupo <i>Indica</i>	43.8	42.5	43.2	c
Líneas	Pob. Original (P0)	60.4	60.0	60.2	b
	P1	56.1	56.2	56.2	b
	P2	56.6	57.2	56.9	b
	P3	60.6	57.6	59.1	b
	Promedio ponderado	58.9 a	58.0 b	58.4	

5.6. NUMERO DE GRANOS VACIOS (GRVACIOS)

Los resultados del análisis de varianza combinado se encuentran en el Anexo 4; se observa que no hubo interacciones con el ambiente. Para la variable GRVACIOS el análisis de varianza indicó que hubo diferencias significativas entre los dos ambientes. Los materiales sembrados con 3000 kg-ha⁻¹ de cal dolomítica presentaron mayor GRVACIOS. Nuevamente se observa la buena adaptación de la población a condiciones de suelos ácidos.

En la Tabla 11 la REGWQ muestra que no hubo diferencias entre poblaciones, excepto para la que tuvo un ciclo de recombinación después de la selección, pero todas difirieron de los grupos de los testigos.

Tabla 11. Promedios y su significancia (REGWQ) de granos vacíos (GRVACIOS) de las líneas de cada una de las cuatro poblaciones y de los dos grupos de testigos.

Categoría	Población	Ambiente 300 kg-ha ⁻¹ Cal olomítica	Ambiente 3000 kg-ha ⁻¹ cal Dolomítica	Promedio	REGWQ
Testigos	Grupo <i>Japónica</i>	13.4	13.7	13.6	d
	Grupo <i>Indica</i>	32.0	35.8	33.8	a
Líneas	Pob. Original (P0)	22.6	22.4	22.5	b
	P1	22.0	22.4	22.2	b
	P2	17.1	18.5	17.8	c
	P3	21.2	24.0	22.6	b
	Promedio ponderado	20.9 b	22.0 a	21.5	

Estos resultados permiten decir que no hubo efecto de la selección. El comportamiento de la P2 es inesperado y no hay una justificación lógica para eso, ya que, como para la característica anterior, esa no fue considerada como criterio en la selección de las plantas

5.7. ALTURA DE PLANTA (Ht)

La baja Ht es determinante para la capacidad de las plantas de mantenerse erguidas con elevada producción, es decir mantenerse resistente al volcamiento. Los análisis de varianza para Ht indican diferencias altamente significativas entre “ambientes” y significativas para la interacción “ambiente*población (categoría)” (Anexos 4 y 5).

En la Tabla 12 la REGWQ muestra que en los datos por “ambiente”, hay diferencias dentro de ellos, al comparar las medias entre poblaciones dentro de los ambientes se puede percibir un ligero descenso en altura a medida que se avanzaron las recombinaciones, pues los mayores promedios fueron en la P0

en los dos ambientes, y la de menor promedio fue la población con la segunda recombinación después del ciclo de selección.

Tabla 12. Promedios y su significancia (REGWQ) de altura de planta (Ht) de las líneas de cada una de las cuatro poblaciones y de los dos grupos de testigos.

Categoría	Población	Ambiente 300 kg-ha ⁻¹ Cal Dolomítica	R E G W Q	Ambiente 3000 kg-ha ⁻¹ Cal Dolomítica	R E G W Q
Testigos	Grupo <i>Japónica</i>	88.8	ab	85.2	a
	Grupo <i>Indica</i>	72.0	c	68.9	c
	Pob. Original (P0)	91.8	a	84.9	ab
Líneas	P1	85.8	ab	84.3	ab
	P2	82.2	b	79.8	ab
	P3	81.8	b	78.0	b

Al realizar la comparación con respecto a los testigos se observa que no hubo diferencia con las poblaciones y el grupo *japónica*, excepto a la que se le realizaron dos ciclos de recombinación después de la selección, la cual presentó la menor altura en el ambiente de 3000 kg-ha⁻¹ de cal dolomítica.

Se observó que un ciclo de selección después de la la selección, para cualquiera de los dos ambientes, no produjo alteración en la altura de plantas, sólo se observaron cambios cuando se completó la segunda recombinación después del ciclo de selección, con una significativa disminución en altura, con respecto a la P0, en los dos ambientes.

5.8. NÚMERO DE TALLOS POR METRO CUADRADO (TALLOSM2)

Uno de los más importantes componentes del rendimiento total, es el número de tallos por unidad de área o por metro cuadrado, que fue utilizado como una de las características para evaluar el efecto de la selección y del número de ciclos sucesivos de recombinación en la población PCT-4.

Para la variable TALLOSM2 los análisis de varianza presentados en los Anexos 4 y 5, muestran interacción altamente significativas solamente para “ambiente*población (categoría)”. En la Tabla 13 se observa que no hubo diferencias significativas entre testigos del grupo *japónica* y las poblaciones para cualquiera de los dos ambientes, excepto para la P3 en el ambiente con 300 kg-ha⁻¹ de cal dolomítica.

Tabla 13. Promedios y su significancia (REGWQ) de tallos por metro cuadrado (TALLOSM2) de las líneas de cada una de las cuatro poblaciones y de los dos grupos de testigos.

Categoría	Población	Ambiente 300 kg-ha ⁻¹ cal Dolomítica	R E G W Q	Ambiente 3000 kg-ha ⁻¹ Cal Dolomítica	R E G W Q
Testigos	Grupo Japónica	57.7	A	66.0	bc
	Grupo Indica	77.2	A	83.1	a
Líneas	Pob. Original (P0)	64.1	Ab	56.4	c
	P1	67.0	Ab	70.2	b
	P2	67.2	Ab	68.2	bc
	P3	59.8	B	69.8	c

Las cuatro poblaciones evaluadas son de origen *japónica* y fenotípicamente son materiales con bajo número de tallos, al compararlas con las del grupo indica. Se puede apreciar que no hay diferencias entre las poblaciones dentro de cualquiera de los dos ambientes.

Estos resultados, independientemente del ambiente, permiten concluir que un ciclo de selección y sucesivas recombinaciones no cambiaron significativamente el TALLOSM2 de la población PCT-4.

5.9. NÚMERO DE PANICULAS POR METRO CUADRADO (NPANM2)

Esta es otra de las variables fundamentales como componente total de rendimiento de granos y está ligada al número de tallos por metro cuadrado. Esta variable presentó un comportamiento similar a TALLOSM2. El análisis de varianza muestra que hubo diferencia altamente significativas solamente para “ambiente*población (categoría)” (Anexos 4 y 5).

Los promedios presentados en la Tabla 14 muestran una significancia más alta para NPANM2 en el grupo de testigos *indica*, con algunas variaciones entre poblaciones. Se observa que la de menor NPANM2 fue la P0. Al comparar las poblaciones dentro de ambientes no hubo respuestas significativas entre ellas, excepto para la P0 en el ambiente de 3000 kg-ha⁻¹ de cal dolomítica, donde esta produjo significativamente menos NPANM2 que las demás.

Tabla 14. Promedios y su significancia (REGWQ) de número de panículas por metro cuadrado (NPANM2) de las líneas de cada una de las cuatro poblaciones y de los dos grupos de testigos.

Categoría	Población	Ambiente 300 kg-ha ⁻¹ Cal Dolomítica	R E G W Q	Ambiente 3000 kg-ha ⁻¹ Cal Dolomítica	R E G W Q
Testigos	Grupo <i>Japónica</i>	53.1	B	60.7	bc
	Grupo <i>Indica</i>	72.4	A	78.4	a
Líneas	Pob. Original (P0)	59.4	B	52.2	c
	P1	63.0	Ab	65.1	b
	P2	63.7	Ab	65.0	b
	P3	57.5	B	65.6	b

Un ciclo de selección y dos recombinaciones después de este no afectaron significativamente la variable NPANM2, excepto en el ambiente de 3000 kg-ha⁻¹ de cal dolomítica, donde un ciclo de selección permitió incrementar el NPANM2, y ese incremento se mantuvo con los ciclos de recombinación después de la selección.

5.10. PESO EN GRAMOS DE LAS SEMILLAS (PESOGSEM)

Esta variable contempla el peso en gramos de semillas cosechadas en un metro lineal. Los análisis de varianza de esta variable presentados en los Anexos 4 y 5, nos muestra diferencias significativas al realizar el análisis combinado, para la interacción “ambiente*población (categoría)”.

Se observa en la Tabla 15 que dentro de ambientes no hay diferencia entre poblaciones, la de mayor promedio de PESOGSEM lo presentó la P2 y aún cuando no haya presentado el mayor NPANM2 y de TALLOSM2 superó significativamente el promedio del grupo de testigos *indica*.

Tabla 15. Promedios y su significancia (REGWQ) de peso en gramos de las semillas cosechadas de un metro lineal (PESOGSEM) de las líneas de cada una de las cuatro poblaciones y de los dos grupos de testigos.

Categoría	Población	Ambiente 300 kg-ha ⁻¹ Cal Dolomítica	R E G W Q*	Ambiente 3000 kg-ha ⁻¹ Cal Dolomítica	R E G W Q
Testigos	Grupo <i>Japónica</i>	58.2	Bc	68.8	a
	Grupo <i>Indica</i>	46.0	C	40.0	b
Líneas	Pob. Original (P0)	75.2	A	55.0	ab
	P1	68.7	Ab	67.9	a
	P2	81.8	A	76.2	a
	P3	62.9	Abc	67.4	a

Estos resultados permiten decir que un ciclo de selección y dos recombinaciones después de la misma no produjeron ganancias significativas para PESOGSEM.

5.11. PESO DE LOS 1000 GRANOS (P1000)

Esta variable contempla el P1000, que es otro de los importantes componentes del RDTO de las poblaciones. Los análisis de varianza muestran, para esta variable, diferencias significancia para todas las fuentes de variación, excepto para “ambiente*Línea (Población (categoría))” (Anexo 4 y 5). Sin embargo, los promedios presentados para los análisis individuales (Tabla 16) muestran que las poblaciones no presentaron variación entre ellas, en cualquiera de los dos ambientes. Las diferencias fueron observadas con respecto a los dos grupos de testigos *indica* y *japónica* que presentaron menor P1000.

Tabla 16. Promedios y su significancia (REGWQ) del peso de los mil granos (P1000) de las líneas de cada una de las cuatro poblaciones y de los dos grupos de testigos.

Categoría	Población	Ambiente 300 kg-ha⁻¹ Cal Dolomítica	R E G W Q	Ambiente 3000 kg-ha⁻¹ Cal Dolomítica	R E G W Q
Testigos	Grupo <i>Japónica</i>	28.0	Bc	27.0	bc
	Grupo <i>Indica</i>	26.3	c	25.0	c
Líneas	Pob. Original (P0)	30.5	a	30.1	a
	P1	30.3	Ab	29.8	a
	P2	29.9	Ab	29.4	a
	P3	29.1	Ab	28.1	ab

Estos resultados permiten decir que un ciclo de selección y dos recombinaciones después de la selección no cambiaron el comportamiento de las poblaciones en ninguno de los dos ambientes.

6. CONCLUSIONES

- **Comportamiento de las poblaciones en suelos ácidos:**

Los resultados permiten concluir que, independientemente de la población de donde las líneas fueron derivadas, todas ellas presentan un elevado nivel de tolerancia a la acidez, pues los mejores resultados se observaron para el menor nivel de cal dolomítica. Estos datos son corroborados respecto a los grados obtenidos en las evaluaciones de acidez (grados entre 1 y 3).

Las características, número de días a floración del 50% de las panículas, rendimiento de granos, peso de las 10 panículas, número de granos llenos y número de granos vacíos, se comportaron de manera diferente en los dos ambientes.

Los promedios de número de días a floración del 50% de las panículas, rendimiento de granos, peso de las 10 panículas, número de granos llenos y número de granos vacíos, en el ambiente de 300 kg-ha^{-1} de cal dolomítica, presentaron mejor comportamiento agronómico que en el ambiente de 3000 kg-ha^{-1} de cal dolomítica.

- **Respuesta a la Selección y a las Recombinaciones**

La selección realizada en la población original (P0), y que produjo la teóricamente mejorada con un ciclo de selección recurrente (P1), sólo tuvo un efecto positivo en el número de días a la floración del 50% de las panículas. Los demás caracteres no cambiaron o no variaron cuando se realizó el ciclo de selección después de una recombinación.

Las características asociadas al rendimiento, peso de las 10 panículas, número de granos llenos, número de granos vacíos, número de panículas por metro cuadrado, peso en gramos de las semillas y peso de 1000 granos no presentaron cambios en sus comportamientos cuando fueron sometidas a una recombinación antes del ciclo de selección y dos recombinaciones después de la misma.

7. RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados de este estudio, se hacen las siguientes recomendaciones a los programas de mejoramiento de la región:

Como sólo se analizó un ciclo de selección y no se observaron cambios significativos para la mayoría de las características estudiadas, se recomienda que los fitomejoradores que utilicen el método, planeen de tiempo en tiempo, realizar estudios para evaluar el progreso alcanzado y hacer correcciones de rumbo.

Realizar una o dos recombinaciones entre los ciclos de selección recurrente puede no producir efectos o hasta mismo efectos contrarios a los deseados, para algunas de las características que se está trabajando, por esto se recomienda que en el mejoramiento poblacional del arroz sólo se utilice una recombinación entre ciclos de selección recurrente.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. ALTMAN, D. W. y BUSSCH, R. H. 1984. Random Intermating before Selection in Spring Wheat. Crop Sci. 24:1085-1089
2. ALLARD, R. W. 1960. Principles of Plant Breeding. Wiley. Nueva York. 485 p.
3. AMEZQUITA, E.; THOMAS, R.J.; RAO, I. M; MOLINA, D. L.; y HOYOS, P. 2000. Influencias de las Pasturas en las Características Físicas en un Oxisol en los Llanos Orientales de Colombia. En: Simposio Internacional de Funcionamientos de Suelos bajo Pasturas en Áreas Intertropicales. Embrapa, Brasilia. Octubre 16-20.
4. BAJAJ, R.K.; BAINS, K. S.; CHAHAL, G.S.; y KHBHRA, A.S. 1990. Effect of Intermating and Selection in Barley. Crop. Improv. 17:54-58.
5. BORRERO, J., OSPINA-R., Y.; GUIMARÃES, E. P.; y CHATEL M. 1997. Ampliación de la Base Genética de los Acervos de Arroz, Mediante la Introducción de Variabilidad. En: Guimarães, E. P. (ed.) Selección Recurrente en Arroz. Centro Internacional de Agricultura tropical (CIAT), Cali. Colombia.p. 55-66.

6. BORRERO, J., CHATEL M.; y TRIANA, M. 2000. Mejoramiento Poblacional del Arroz Irrigado con Énfasis en el Virus de la Hoja Blanca. En: Guimarães, E. P. (ed.) Avances en el Mejoramiento Poblacional en Arroz. Embrapa Arroz e Feijão, San Antonio de Goiás, GO - Brasil. p. 105-118.
7. CIAT 1994. Mejoramiento de Arroz para Suelos Ácidos. Informe Annual
8. CIRAD–CIAT–FLAR. 1997. Collaborative Project between CIRAD-CIAT-FLAR Rice Improvement. Annual Report.
9. COLE, M. M. 1986. The savannas biography and geobotany, Academic Press London. P 438.
10. CORREDOR, S. E. 2000. Selección Recurrente en Arroz de Riego en Colombia. En: Guimarães, E. P. (ed.) Avances en el Mejoramiento Poblacional en Arroz. Embrapa Arroz e Feijão, San Antonio de Goiás, GO - Brasil. p. 119-130.
11. CUEVAS-PÉREZ, F. E.; GUIMARÃES, E. P.; BERRÍO, L. E.; y GONZÁLEZ, D. I. 1992. Genetic Base of Irrigate Rice in Latin America and the Caribbean 1971 to 1989. Crop Sci. 32:1054-1059.
12. CHÂTEL, M. y GUIMARÃES, E. P. 1995. Selección Recurrente con Androesterilidad en Arroz. Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique Pour le Développement – Département des

Cultures Annuelles (CIRAD-CA) y Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 70 p. {Publicación CIAT No. 246}.

13. CHÂTEL, M. y GUIMARÃES, E. P. 1997. Selección Recurrente en Africa y Madagascar: Estado Actual y Progreso. En: Guimarães, E. P. (ed.) Selección Recurrente en Arroz. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 151-162.
14. CHÂTEL, M.; GUIMARÃES, E. P.; OSPINA-R., Y.; y BORRERO, J. 1997. Utilización de Acervos Genéticos y Poblaciones de Arroz de Secano que Segregan para un Gen de Androesterilidad. En: Guimarães, E. P. (ed.) Selección Recurrente en Arroz. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 125-138.
15. CHÂTEL, M. y GUIMARÃES, E. P. 1998. Catalogue Registration to Manage Rice Gene Pools and Populations Improvement. 54 p. (monografía).
16. CHAVES, L. J. 1997. Criterios para Escoger Progenitores para un Programa de Selección Recurrente. En: Guimarães, E. P. (ed.) Selección Recurrente en Arroz. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. P. 125-138.
17. EAST, E. M. y JONES D. F. 1920. Genetic Studies on the Protein Content of Maize. Genetics 5:534-610.

18. ENIOT, I. y GABRIEL, L. R. 1975. "A Study of the Powers of Several Methods of Multiple Comparisons, "Journal of the American Statistical Association, 70,351.
19. FEDERER, W. T. 1956. Augmented (or Hoonuiaku) Designs. Hawaii. Plant. Rec. 55:191-208.
20. FEHR, W. R. 1987. Principles of Cultivar Development. Vol.1: Theory and Technique. MacMillan Publishing, Nueva York, USA. 536 p.
21. FERREIRA, E.; BRESEGHELLO, F.; y CASTRO, E. M. de. 2000. CNA-8: Población de Arroz de Tierras Altas bajo Mejoramiento Poblacional para Resistencia a Plagas Iniciales. En: Guimarães, E. P. (ed.) Avances en el Mejoramiento Poblacional en Arroz. Embrapa Arroz e Feijão, San Antonio de Goiás, GO - Brasil. p. 256-269.
22. FERREIRA Jr., E.; CASTRO, E. M. de; FERREIRA, E.; y MORAIS, O. P. 1998. Potencial da População de Arroz CNA-8 para um Programa de Seleção Visando à Resistência à Broca-do-colo, *Elasmopalpus lignosellus* (Zelle, 1948) (Lepidoptera, Pyralidae). Cienc. Agrotec. 22(3):318-322.
23. FILIPPI, M. C. y PRABHU, A. S. 1997. Selección Recurrente para Resistencia Parcial a *Pyricularia grisea* Sacc. En Arroz, en Brasil. En: Guimarães, E. P. (ed.) Selección Recurrente en Arroz. Centro Internacional de Agricultura tropical (CIAT), Cali. Colombia. p. 177-187.

24. FUJIMAKI, H. 1979. Recurrent Selection by Using Genectic Male Sterility for Rice Improvement. Jpn. Agric. Resc. Q. 13:153-156.
25. GERALDI, I.O. 1997. Selección Recurrente en el Mejoramiento de Plantas. En: Guimarães, E. P. (ed.) Selección Recurrente en Arroz. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali. Colombia. p. 3-11.
26. GUIMARÃES, E. P. 1985. Genectic Improvement of Soybean From Populations Developed by Alternative Strategies of Recurrent Selection Strategies. Tesis, Ph. D. Iowa, E.U. 116 p.
27. GUIMARÃES, E. P. y CORREA-VICTORIA, F. 1997. Utilización de la Selección Recurrente para Desarrollar Resistencia *Pyricularia grisea* Sacc. En arroz. En: Guimarães, E. P. (ed.). Selección Recurrente en Arroz. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 165-175.
28. GRATEROL, M. E. J. 2000. Caracterización de Poblaciones e Introducción de Variabilidad Genética para Iniciar un Programa de Mejoramiento Poblacional del Arroz en Venezuela. En: Guimarães, E. P. (ed.) Avances en el Mejoramiento Poblacional en Arroz. Embrapa Arroz e Feijão, San Antonio de Goiás, GO - Brasil. p. 87-103.
29. HALLAUER, A. R. 1985. Compendium of Recurrent Selection Methods and their Application. Critical Reviews in Plant Sciencies 3(1):1-33.

30. 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.
31. HAYES, H. K. y R. J. GARBER. 1919. Synthetic Production of High Protein Corn in Relation to Breeding. *Jour Amer. Soc. Agron.* 11: 309-318.
32. HULL, F. H. 1945. Recurrent Selection for Specific Combining Ability in Corn. *Jour. Amer. Soc. Agron.* 37: 134-145.
33. HULL, F. H. 1952. Recurrent selection and overdominance. En *Heterosis*, pp. 451-473. Iowa State College Press.
34. 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.
35. IRRFINGER. 1996. Standar Evaluation System for Rice. 4th Edition, july 1996 pp 52. Manila, Philippines.
36. JENKINS, M. T. 1940. The Segregation of Genes Affecting Yield of Grain in Maize. *Jour. Amer. Soc. Agron.* 32: 55-63.

37. KERVELLA, J.; GOLDRINGER, I.; y BRABANT, P. 1991. Selection Récurrente chez les Autogames pour `Amélioration de Variétés Lignées Pures: Une Revue Bibliographique. *Agronomie* 11:335-352.
38. MARASSI, J. E.; MARASSI, M. A.; CHÂTEL, M.; y BORRERO, J. 2000. Desarrollo de Poblaciones de Arroz en Argentina. En: Guimarães, E. P. (ed.) *Avances en el Mejoramiento Poblacional en Arroz*. Embrapa Arroz e Feijão, San Antonio de Goiás, GO - Brasil. p. 173-186.
39. MARÍN-GARAVITO, J. M. 1994. Efecto del número de ciclos de recombinación en la variabilidad de las poblaciones de arroz (*Oryza sativa* L.). Tesis, Ing. Agr. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias de Palmira. 50 p.
40. MEREDITH, W. R. Jr. y BRIDGE, R. R. 1971. Breakup of Linkage Blocks in Cotton, *Gossypium hirsutum* L. *Crop Sci.* 11:695-698.
41. MILLER, P. A. y RAWLINGS, J. O. 1967. Breakup of Initial Linkage Blocks Through Intermating in a Cotton Breeding Program. *Crops. Sci.* 7: 199-204.
42. MORAIS, O. P. de.; CASTRO, E. da M. de.; y SANT'ANA, E. P. 1997. Selección Recurrente en Arroz de secano en Brasil. En: Guimarães, E. P. (ed.). *Selección Recurrente en Arroz*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali. Colombia. p. 99-115.

43. OSPINA-R. Y.; BORRERO J.; GUIMARÃES, E. P.; y CHÂTEL, M. 1997. Ciclos de Intercruzamiento y Variabilidad Genética en Poblaciones de Arroz. En: Guimarães, E. P. (ed.) Selección Recurrente en Arroz. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 45-53.
44. OSPINA-R. Y.; CHÂTEL, M.; y GUIMARÃES, E. P. 2000. Mejoramiento Poblacional de Arroz de Sabanas. En: Guimarães, E. P. (ed.) Avances en el Mejoramiento Poblacional en Arroz. Embrapa Arroz e Feijão, San Antonio de Goiás, GO - Brasil. p. 241-254.
45. PIPER, T. E. y FEHR, W. R. 1987. Yield Improvement in a Soybean Population by Utilizing Alternative Strategies of Recurrent Selection. Crop Sci. 27:172-178.
46. RANGEL, P. H. N. y NEVES P. C. F. 1997. Selección Recurrente Aplicada al Arroz de Riego en Brasil. En: Guimarães, E. P. (ed.) Selección Recurrente en Arroz. Centro Internacional de Agricultura tropical (CIAT), Cali. Colombia. p. 80-81.
47. RANGEL, P.H. N.; ZIMMERMANN, F.J.P.; y NEVES, P. de C. F. 1998. Estimativas de parâmetros genéticos e resposta à seleção nas populações de arroz irrigado CNA-IRAT 4PR e CNA-IRAT 4ME. Pesq. Agropec. Bras. 33(6):905-912.

48. RIPPSTEIN, G.; AMÉZQUITA, E.; ESCOBAR, G.; y GROLLIER, C. 2001. Condiciones Naturales de la Sabana. En: Rippstein, G.; Escobar, G.; y Motta, F. (Eds.) Agroecología y Biodiversidad de las Sabanas en los Llanos Orientales de Colombia. Centro Internacional de Agricultura tropical (CIAT), Cali. Colombia. p. 1-21.
49. RYAN, T. A. 1959. Multiple Comparisons in Psychological Research, *Psychological Bulletin*, 56, 26-54.
50. RYAN, T. A. 1960. Significance Test for Multiple Comparison of Proportions, Variances, and Other Statistics, *Psychological Bulletin*, 57, 318-328.
51. RODRIGUEZ, R. E. S.; RANGEL, P. H. N.; y MORAIS, O. P. de. 1998. Estimativas de Parâmetros Genéticos e de Resposta à Seleção na População de Arroz Irrigado CNA 1. *Pesq. Agropec. Bras.* 33(5):685-691.
52. SAS Institute Inc. 1988. SAS/STAT User's Guide, Release 6.12 Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc. 1028 pp.
53. SARKARUNG, S. 1991. A simplified Crossing Method for Rice Breeding: A Manual. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 32 p.
54. SINGH, R. J. e IKEHASHI, H. 1981 Monogenic Male-sterility in Rice: Induction, identification and Inheritance. *Crop. Sci.* 21:286-289.

55. TAILLEBOIS, J. y CASTRO, E. M. 1986. A New Crossing Technique Int. Rice res. Newssl. 11(3):6.
56. TAILLEBOIS, J. y GUIMARÃES, E. P. 1989. CNA-IRAT 5 Upland Rice Population. Int. Rice Res. Notes 14:3.
57. VEILLET, S. 1993. Organization of the Genetic Variability and Recurrent Selection in Rice *Oryza sativa* L. Tesis (Doctorat). Institut National Agronomique, Paris, Grignon, Francia.
58. WELSCH, R. E. 1977. Stepwise Multiple Comparison Procedures, "Journal of the American Statistical Association, 72, 359.

ANEXOS

Anexo 1. Listado de las líneas provenientes de las cuatro poblaciones y los testigos utilizados para la evaluación del estudio.

Cons.	Pedigree	Pob.	Cons.	Pedigree	Pob.
1	PCT-4\0\0\0>1	P0 ↓	47	PCT-4\SA\1\1>3	P2 ↓
2	PCT-4\0\0\0>2		48	PCT-4\SA\1\1>4	
3	PCT-4\0\0\0>3		49	PCT-4\SA\1\1>5	
4	PCT-4\0\0\0>4		50	PCT-4\SA\1\1>6	
5	PCT-4\0\0\0>5		51	PCT-4\SA\1\1>7	
6	PCT-4\0\0\0>6		52	PCT-4\SA\1\1>8	
7	PCT-4\0\0\0>7		53	PCT-4\SA\1\1>9	
8	PCT-4\0\0\0>8		54	PCT-4\SA\1\1>10	
9	PCT-4\0\0\0>9		55	PCT-4\SA\1\1>11	
10	PCT-4\0\0\0>10		56	PCT-4\SA\1\1>12	
11	PCT-4\0\0\0>11		57	PCT-4\SA\1\1>13	
12	PCT-4\0\0\0>12		58	PCT-4\SA\1\1>14	
13	PCT-4\0\0\0>13		59	PCT-4\SA\1\1>15	
14	PCT-4\0\0\0>14		60	PCT-4\SA\1\1>16	
15	PCT-4\0\0\0>15		61	PCT-4\SA\1\1>17	
16	PCT-4\0\0\0>16		62	PCT-4\SA\1\1>18	
17	PCT-4\0\0\0>17		63	PCT-4\SA\1\1>19	
18	PCT-4\0\0\0>18		64	PCT-4\SA\1\1>20	
19	PCT-4\0\0\0>19		65	PCT-4\SA\1\1>21	
20	PCT-4\0\0\0>20		66	PCT-4\SA\1\1>22	
21	PCT-4\0\0\0>21		67	PCT-4\SA\1\1>23	
22	PCT-4\0\0\0>22		68	PCT-4\SA\1\1>24	
23	PCT-4\0\0\0>23		69	PCT-4\SA\1\1>25	
24	PCT-4\0\0\0>24		70	PCT-4\SA\1\1>26	
25	PCT-4\0\0\0>25		71	PCT-4\SA\1\1>27	
26	PCT-4\0\0\0>26		72	PCT-4\SA\1\1>28	
27	PCT-4\0\0\0>27		73	PCT-4\SA\1\1>29	
28	PCT-4\0\0\0>28		74	PCT-4\SA\1\1>30	
29	PCT-4\0\0\0>29		75	PCT-4\SA\1\1>31	
30	PCT-4\0\0\0>30		76	PCT-4\SA\1\1>32	
31	PCT-4\0\0\0>31		77	PCT-4\SA\1\1>33	
32	PCT-4\0\0\0>32		78	PCT-4\SA\1\1>34	
33	PCT-4\0\0\0>33		79	PCT-4\SA\1\1>35	
34	PCT-4\0\0\0>34		80	PCT-4\SA\1\1>36	
35	PCT-4\0\0\0>35		81	PCT-4\SA\1\1>37	
36	PCT-4\0\0\0>36		82	PCT-4\SA\1\1>38	
37	PCT-4\0\0\0>37		83	PCT-4\SA\1\1>39	
38	PCT-4\0\0\0>38		84	PCT-4\SA\1\1>40	
39	PCT-4\0\0\0>39		85	PCT-4\SA\1\1>41	
40	PCT-4\0\0\0>40		86	PCT-4\SA\1\1>42	
41	PCT-4\0\0\0>41		87	PCT-4\SA\1\1>43	
42	PCT-4\0\0\0>42		88	PCT-4\SA\1\1>44	
43	PCT-4\0\0\0>43		89	PCT-4\SA\2\1>1	P2 ↓
44	PCT-4\0\0\0>44		90	PCT-4\SA\2\1>2	
45	PCT-4\SA\1\1>1	P1 ↓	91	PCT-4\SA\2\1>3	
46	PCT-4\SA\1\1>2		92	PCT-4\SA\2\1>4	

Continuación Anexo 1.

Cons.	Pedigree	Pob.*
93	PCT-4\SA\2\1>5	
94	PCT-4\SA\2\1>6	
95	PCT-4\SA\2\1>7	
96	PCT-4\SA\2\1>8	
97	PCT-4\SA\2\1>9	
98	PCT-4\SA\2\1>10	
99	PCT-4\SA\2\1>11	
100	PCT-4\SA\2\1>12	
101	PCT-4\SA\2\1>13	
102	PCT-4\SA\2\1>14	
103	PCT-4\SA\2\1>15	
104	PCT-4\SA\2\1>16	
105	PCT-4\SA\2\1>17	
106	PCT-4\SA\2\1>18	
107	PCT-4\SA\2\1>19	
108	PCT-4\SA\2\1>20	
109	PCT-4\SA\2\1>21	
110	PCT-4\SA\2\1>22	
111	PCT-4\SA\2\1>23	
112	PCT-4\SA\2\1>24	
113	PCT-4\SA\2\1>25	
114	PCT-4\SA\2\1>26	
115	PCT-4\SA\2\1>27	
116	PCT-4\SA\2\1>28	
117	PCT-4\SA\2\1>29	
118	PCT-4\SA\2\1>30	
119	PCT-4\SA\2\1>31	
120	PCT-4\SA\2\1>32	
121	PCT-4\SA\2\1>33	
122	PCT-4\SA\2\1>34	
123	PCT-4\SA\2\1>35	
124	PCT-4\SA\2\1>36	
125	PCT-4\SA\2\1>37	
126	PCT-4\SA\2\1>38	
127	PCT-4\SA\2\1>39	
128	PCT-4\SA\2\1>40	
129	PCT-4\SA\2\1>41	
130	PCT-4\SA\2\1>42	
131	PCT-4\SA\2\1>43	
132	PCT-4\SA\2\1>44	
133	PCT-4\SA\3\1>1	P3
134	PCT-4\SA\3\1>2	
135	PCT-4\SA\3\1>3	
136	PCT-4\SA\3\1>4	
137	PCT-4\SA\3\1>5	

Cons.	Pedigree	Pob.*
138	PCT-4\SA\3\1>6	
139	PCT-4\SA\3\1>7	
140	PCT-4\SA\3\1>8	
141	PCT-4\SA\3\1>9	
142	PCT-4\SA\3\1>10	
143	PCT-4\SA\3\1>11	
144	PCT-4\SA\3\1>12	
145	PCT-4\SA\3\1>13	
146	PCT-4\SA\3\1>14	
147	PCT-4\SA\3\1>15	
148	PCT-4\SA\3\1>16	
149	PCT-4\SA\3\1>17	
150	PCT-4\SA\3\1>18	
151	PCT-4\SA\3\1>19	
152	PCT-4\SA\3\1>20	
153	PCT-4\SA\3\1>21	
154	PCT-4\SA\3\1>22	
155	PCT-4\SA\3\1>23	
156	PCT-4\SA\3\1>24	
157	PCT-4\SA\3\1>25	
158	PCT-4\SA\3\1>26	
159	PCT-4\SA\3\1>27	
160	PCT-4\SA\3\1>28	
161	PCT-4\SA\3\1>29	
162	PCT-4\SA\3\1>30	
163	PCT-4\SA\3\1>31	
164	PCT-4\SA\3\1>32	
165	PCT-4\SA\3\1>33	
166	PCT-4\SA\3\1>34	
167	PCT-4\SA\3\1>35	
168	PCT-4\SA\3\1>36	
169	PCT-4\SA\3\1>37	
170	PCT-4\SA\3\1>38	
171	PCT-4\SA\3\1>39	
172	PCT-4\SA\3\1>40	
173	PCT-4\SA\3\1>41	
174	PCT-4\SA\3\1>42	
175	PCT-4\SA\3\1>43	
176	PCT-4\SA\3\1>44	
177	Oryzica Sabana 6	T1
178	Oryzica Sabana 10	T2
179	CIRAD 409	T3
180	Oryzica Llanos 5	T4
181	CICA 8	T5
182	CICA 9	T6

* Cons.= Número consecutivo; Pob.= Población

Anexo 2. Análisis medido en escala para la variable reacción a la acidez;Tabla estadística de chi cuadrado.

SELECCION RECURRENTE FRANJAS SUELOS ACIDOS 300 KG (YOB300.SAS)
ANALISIS DE VARIABLES MEDIDAS EN ESCALA

AC1	POBLA				
Frequency Expected Cell Chi-Square Percent Row Pct Col Pct	P0	P1	P2	P3	Total
1	800 640 40 11.36 31.25 45.45	600 640 2.5 8.52 23.44 34.09	680 640 2.5 9.66 26.56 38.64	480 640 40 6.82 18.75 27.27	2560 36.36
2	520 620 16.129 7.39 20.97 29.55	560 620 5.8065 7.95 22.58 31.82	560 620 5.8065 7.95 22.58 31.82	840 620 78.065 11.93 33.87 47.73	2480 35.23
3	440 500 7.2 6.25 22.00 25.00	600 500 20 8.52 30.00 34.09	520 500 0.8 7.39 26.00 29.55	440 500 7.2 6.25 22.00 25.00	2000 28.41
Total	1760 25.00	1760 25.00	1760 25.00	1760 25.00	7040 100.00

STATISTICS FOR TABLE OF AC1 BY POBLA

Statistic	DF	Value	Prob
Chi-Square	6	226.006	0.001
Likelihood Ratio Chi-Square	6	219.714	0.001
Mantel-Haenszel Chi-Square	1	28.343	0.001
Phi Coefficient		0.179	
Contingency Coefficient		0.176	
Cramer's V		0.127	

Sample Size = 7040

Anexo 3. Escala y descripción de la variable reacción a la acidez.

Grados	Descripción
1	Ninguna diferencia en crecimiento entre franjas ácida y poco ácida
2	Poco amarillamiento de algunas plantas en las franjas ácidas, ninguna diferencia en crecimiento
3	Algo de amarillamiento de plantas, poca reducción de altura en la franja ácida
4	Amarillamiento uniforme, reducción marcada de altura, ninguna muerte de hojas
5	Amarillamiento severo, fuerte reducción de altura, muerte de hojas inferiores

Fuente: IRRI-INGER (1996)

Anexo 4. Análisis de varianza combinando ambiente (300 y 3000) para las diferentes variables evaluadas de las líneas de cada población y de los grupos de testigos.

Variable	Fuente de variación	Ambiente 300-3000		
		GI	Cuadrado Medio	Pr>F
FI	Ambiente	1	39.14756327	0.0101
	Categoría	1	7327.74656683	0.0001
	Pobla(Categoría)	4	1476.74581755	0.0001
	Materi(Catego*Pobla)	176	162.89631399	0.0001
	Ambiente*categoría	1	2.32357401	0.5271
	Ambi*Pob(Categoría)	4	0.52233270	0.9854
	Ambi*Mate(Cate*Pob)	176	5.78482983	0.1634
	Error	24	4.11111111	
	Total	387		
	CV	2.7%		
RDTO	Ambiente	1	2356409.96743491	0.0052
	Categoría	1	13008770.30824650	0.0001
	Pobla(Categoría)	4	6267316.91222675	0.0001
	Materi(Catego*Pobla)	176	734268.20794470	0.0001
	Ambiente*categoría	1	24559.78426749	0.7729
	Ambi*Pob(Categoría)	4	224513.45876966	0.5500
	Ambi*Mate(Cate*Pob)	176	293874.90726809	0.0522
	Error	23	164919.65554209	
	Total	386		
	CV	15.8%		
PESO10PA	Ambiente	1	39.79200978	0.0371
	Categoría	1	0.90288092	0.8386
	Pobla(Categoría)	4	295.65216326	0.0001
	Materi(Catego*Pobla)	176	21.69255034	0.0006
	Ambiente*categoría	1	14.47302880	0.2068
	Ambi*Pob(Categoría)	4	5.49632348	0.6562
	Ambi*Mate(Cate*Pob)	176	9.01531475	0.1755
	Error	23	6.46260870	
	Total	386		
	CV	15.4%		
GRLLNOS	Ambiente	1	134.20918549	0.2674
	Categoría	1	370.62954549	0.2301
	Pobla(Categoría)	4	3099.49513329	0.0001
	Materi(Catego*Pobla)	176	255.56501019	0.0014
	Ambiente*categoría	1	57.84631500	0.4661
	Ambi*Pob(Categoría)	4	55.07035871	0.7300
	Ambi*Mate(Cate*Pob)	176	108.42295133	0.2413
	Error	23	84.05644928	
	Total	387		
	CV	15.7%		
GRVACIOS	Ambiente	1	0.01242667	0.1168
	Categoría	1	0.03496492	0.1828
	Pobla(Categoría)	4	0.19515764	0.0001
	Materi(Catego*Pobla)	176	0.01954570	0.0001
	Ambiente*categoría	1	0.00087806	0.6757
	Ambi*Pob(Categoría)	4	0.00611269	0.3031
	Ambi*Mate(Cate*Pob)	176	0.00500152	0.0541
	Error	23	0.00282546	
	Total	387		
	CV	11.5%		

...Continuación de Anexo 4.

Variable	Fuente de variación	Ambiente 300-3000		
		GI	Cuadrado Medio	Pr>F
Ht	Ambiente	1	502.79114454	0.0001
	Categoría	1	761.90561138	0.0108
	Pobla(Categoría)	4	1613.36540603	0.0001
	Materi(Catego*Pobla)	176	114.75999518	0.0001
	Ambiente*categoría	1	0.74500913	0.8576
	Ambi*Pob(Categoría)	4	93.21161421	0.0037
	Ambi*Mate(Cate*Pob)	176	23.07829479	0.0189
	Error	23	11.11916667	
	Total	387		
	CV	4.0%		
TALLOS M2	Ambiente	1	615.21340339	0.0694
	Categoría	1	981.37254478	0.0512
	Pobla(Categoría)	4	1649.31667614	0.0001
	Materi(Catego*Pobla)	176	254.72205517	0.0120
	Ambiente*categoría	1	220.25248658	0.2759
	Ambi*Pob(Categoría)	4	887.11197917	0.0010
	Ambi*Mate(Cate*Pob)	176	184.34912129	0.0825
	Error	23	112.66666667	
	Total	387		
	CV	16.1%		
NPANM2	Ambiente	1	478.12340950	0.0885
	Categoría	1	678.32274734	0.0860
	Pobla(Categoría)	4	1773.66613636	0.0001
	Materi(Catego*Pobla)	176	227.54153548	0.0017
	Ambiente*categoría	1	244.15191652	0.2226
	Ambi*Pob(Categoría)	4	650.46840909	0.0040
	Ambi*Mate(Cate*Pob)	176	163.00530467	0.0180
	Error	24	76.65942029	
	Total	387		
	CV	14.1%		
PESOGSEM	Ambiente	1	290.63294524	0.4619
	Categoría	1	8880.50878035	0.0013
	Pobla(Categoría)	4	3893.49498593	0.0012
	Materi(Catego*Pobla)	176	827.61203388	0.0002
	Ambiente*categoría	1	336.45376706	0.4286
	Ambi*Pob(Categoría)	4	2074.37834054	0.0048
	Ambi*Mate(Cate*Pob)	176	534.49077279	0.0050
	Error	23	208.44485507	
	Total	386		
	CV	21.2%		
P1000	Ambiente	1	32.39977378	0.0001
	Categoría	1	316.74113941	0.0001
	Pobla(Categoría)	4	48.45689631	0.0081
	Materi(Catego*Pobla)	176	13.62702880	0.0001
	Ambiente*categoría	1	4.51761016	0.0088
	Ambi*Pob(Categoría)	4	1.64320161	0.0408
	Ambi*Mate(Cate*Pob)	176	0.64383493	0.9811
	Error	23	1.15391304	
	Total	386		
	CV	3.6%		

Anexo 5. Análisis de varianza por ambiente (300 y 3000) para las diferentes variables evaluadas de las líneas de cada población y de los grupos de testigos.

Variable	Fuente de variación	Ambiente 300 kg/ha			Ambiente 3000 kg/ha	
		Gl	Cuadrado Medio	Pr>F	Cuadrado Medio	Pr>F
FL						
	Categoría	1	3534.54920337	0.0001	3795.52093747	0.0001
	Pobla(Categoría)	4	717.73863636	0.0001	759.52951389	0.0001
	Materi(Catego*Pobla)	176	81.72735882	0.0001	86.95378501	0.0001
	Error	12	5.22222222		3.00000000	
	Total	193				
	CV	3.03%			2.3%	
RDTO						
	Categoría	1	6176396.36810053	0.5974	6176396.36810053	0.0003
	Pobla(Categoría)	4	9890494.46039381	0.0001	2472623.61509845	0.0001
	Materi(Catego*Pobla)	176	91298643.147055000	0.1602	518742.29060827	0.0215
	Error	12 *	162529.65017229		167526.93412725	
	Total	193				
	CV	15.1%			17%	
PESO10PA						
	Categoría	1	4.22703068	0.5974	10.90561919	0.4047
	Pobla(Categoría)	4	183.15173453	0.0001	120.38158982	0.0001
	Materi(Catego*Pobla)	176	15.09801839	0.1602	15.63248063	0.0049
	Error	12	9.06833333		3.62000000	
	Total	193				
	CV	18%			11.7%	
GRLLENOS						
	Categoría	1	374.29365986	0.1349	65.43212412	0.5662
	Pobla(Categoría)	4	1885.98407600	0.0001	1288.17378950	0.0001
	Materi(Catego*Pobla)	176	165.93990175	0.3162	198.05043261	0.0018
	Error	12	127.26555556		36.91924242	
	Total	193				
	CV	19.1%			10.5%	
GRVACIOS						
	Categoría	1	0.01284860	0.3087	0.02263782	0.1753
	Pobla(Categoría)	4	0.09311460	0.0001	0.10749153	0.0001
	Materi(Catego*Pobla)	176	0.01232571	0.0068	0.01222459	0.0019
	Error	12	0.00330478		0.00230258	
	Total	193				
	CV	12.6%			10.3%	
Ht						
	Categoría	1	405.15022656	0.0198	357.50039396	0.0197
	Pobla(Categoría)	4	1023.20776989	0.0001	683.36925035	0.0001
	Materi(Catego*Pobla)	176	73.29479411	0.0017	64.54349587	0.0001
	Error	12	14.72944444		7.50888889	
	Total	193				
	CV	4.5%			3.4%	

* Para el ambiente 3000 el error fue de 11

...Continuación de Anexo 5.

Variable	Fuente de variación	Ambiente 300 kg/ha			Ambiente 3000 kg/ha	
		Gl	Cuadrado Medio	Pr>F	Cuadrado Medio	Pr>F
TALLOSM2						
	Categoría	1	141.03030954	0.4359	1028.27776164	0.0274
	Pobla(Categoría)	4	824.49921086	0.0080	1717.44551282	0.0001
	Materi(Catego*Pobla)	176	231.29038969	0.0071	207.79500258	0.3650
	Error	12	62.61111111		167.27272727	
	Total	193				
	CV	12.9%			19.3%	
NPANM2						
	Categoría	1	56.33242216	0.6004	837.68247168	0.0352
	Pobla(Categoría)	4	704.47159091	0.0097	1723.76180070	0.0001
	Materi(Catego*Pobla)	176	204.50441919	0.0004	186.04026773	0.2447
	Error	12	30.77777778		126.71212121	
	Total	193				
	CV	9.1%			18%	
PESOGSEM						
	Categoría	1	6576.57406935	0.0013	2778.72087903	0.0548
	Pobla(Categoría)	4	2376.77095193	0.0051	3556.87160958	0.0011
	Materi(Catego*Pobla)	176	617.90963425	0.0001	743.67531798	0.0855
	Error	12	73.02000000		356.18106061	
	Total	193				
	CV	12.1%			28.7%	
P1000						
	Categoría	1	127.44396289	0.0001	191.48226571	0.0001
	Pobla(Cat egoría)	4	16.53317393	0.0521	33.45813083	0.0017
	Materi(Catego*Pobla)	176	6.89837136	0.0001	7.39480343	0.0093
	Error	12 *	0.39111111		1.98606061	
	Total	193				
	CV	2.10%			4.8%	

* Para el ambiente 3000 el error fue de 11