COMPARACIÓN DE DOS ESQUEMAS DE SELECCIÓN DE PLANTAS DE ARROZ (*Oryza Sativa)* PARA ALTO RENDIMIENTO EN GENERACIONES TEMPRANAS EN EL SISTEMA DE ARROZ RIEGO EN COLOMBIA

JOSE ALEJANDRO VARGAS MARTINEZ

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
MAESTRIA EN CIENCIAS AGRARIAS CON ÉNFASIS EN FITOMEJORAMIENTO
PALMIRA
2003

COMPARACIÓN DE DOS ESQUEMAS DE SELECCIÓN DE PLANTAS DE ARROZ (*Oryza Sativa)* PARA ALTO RENDIMIENTO EN GENERACIONES TEMPRANAS EN EL SISTEMA DE ARROZ RIEGO EN COLOMBIA

JOSE ALEJANDRO VARGAS MARTINEZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
MAESTRO EN CIENCIAS

DIRECTOR: Cesar Pompilio Martínez
Ph.D. Fitomejorador del Programa de Arroz del CIAT
CODIRECTOR: Ariel Gutiérrez
M. Sc. Profesor Asociado, Universidad Nacional de Colombia

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
INGENIERIA AGRONOMICA
PALMIRA
2003

A Dios y a mis padres (Q. E. P. D.).

A mi esposa, hijos e hijastros y nieto.

AGRADECIMIENTOS

A la Federación Nacional de Arroceros de Colombia – FEDEARROZ, por su apoyo financiero y logístico de infraestructura.

Al Fondo Latinoamericano de Arroz Riego – FLAR, por el aporte del material genético.

Al Centro de Agricultura Tropical – CIAT, por su apoyo logístico de infraestructura.

Al Dr. César P. Martínez – Fitomejorador del Proyecto de Arroz, CIAT por su orientación, ayuda técnica y a su personal técnico y de campo.

A los fitomejoradores y personal de campo de los centros experimentales: Las Lagunas, Santa Rosa y la Victoria de FEDEARROZ.

Al profesor Ariel Gutiérrez, por su orientación en la elaboración del proyecto.

A la señorita Liliana Escobar por su colaboración en la edición del documento final.

A mis compañeros estudiantes de la Maestría en Fitomejoramiento del 2001.

A las familias Vaca Mondragón y Salas Torres, por su apoyo espiritual durante el desarrollo del proyecto.

COMPARACION DE DOS ESQUEMAS DE SELECCION PARA PLANTAS DE ALTO RENDIMIENTO EN GENERACIONES TEMPRANAS DEL ARROZ-RIEGO (*Oryza sativa* L.) EN COLOMBIA

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION 1

REVISION DE LITERATURA 5

1. 1. El fenotipo y la interacción genotipo por ambiente.....5

1.2. La selección en generaciones tempranas y el tipo de planta.....8

1.3. Los factores relacionados con el incremento del rendimiento.....11

1.4. Los componentes de rendimiento: correlaciones genéticas, heredabilidad y tipos de variación.....13

1.5. Etapas en un programa de mejoramiento por alto potencial de rendimiento.....17

1.6. Los ambientes de selección.....18

1.7. Las estrategias ó esquemas de selección.....21

MATERIALES Y METODOS 24

2.1. Descripción de los esquemas.....24

2.2. Descripción y condiciones climáticas en las localidades de selección y evaluación.....26

2.3. Material genético.....30

2.4. Proceso de selección y obtención de las generaciones.....32

2.4.1. Generación F_1:F_2 32

2.4. 2. Generación F_2:F_3 33

2.4. 3. Generación F_3:F_4 33

2.5. Evaluación de los esquemas de selección.....35

2.6. Establecimiento de los ensayos de rendimiento.....35

2.7. Labores agronómicas en los ensayos de rendimiento 36

2.8. Diseño experimental.....37

2.9. Análisis de varianza.....37

2.10. Variables evaluadas.....40

RESULTADOS Y DISCUSION 42

3. 1. Características agronómicas sin interacción esquema por localidad.....42

3.1.1. Rendimiento de grano (t/ha). 42

3.1.1.1. Localidades 44

3.1.1.2. Esquemas de selección. 47

3.1.1.3... Esquema 1.....53

3.1.1.4. Esquema 2. 56

3.1.2. Número de macollas y panículas por m^2. 59

3.1.3. Número de granos por m^2 y peso de 1000 granos (g). 66

3.2. Características agronómicas con interacción esquema por localidad.....70
3.2.1. Altura de planta en (cm). 70
3.2.2. . Floración (días después de emergencia).....76
3.2.3. Número de granos por panícula. 78
3.2.4. Porcentaje de vaneamiento. 82
3.2.5. Vigor de planta. 84

CONCLUSIONES.....87

BIBLIOGRAFIA.....89

ANEXOS.....99

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación y características del clima promedio anual de las cuatro localidades de selección. 26

Tabla 2. Algunas características del suelo, sistemas y limitantes del cultivo y épocas de siembra y cosecha en cuatro localidades de selección. 27

Tabla 3. Relación de los doce cruzamientos triples utilizados en este estudio. Palmira, 2000. 31

Tabla 4. Análisis de varianza a través de tres localidades para las diferentes variables. 38

Tabla 5. Análisis de varianza para rendimiento de grano (t/ha) de arroz en doce poblaciones F_4 de dos esquemas de selección por rendimiento en generaciones tempranas, sus 25 parentales y cinco variedades testigos, en tres localidades de Colombia. 2002-A. 43

Tabla 6. Rendimiento promedio (t/ha) de dos esquemas de selección por rendimiento en generaciones tempranas, sus parentales y testigos en tres localidades de Colombia. 2002-A. 46

Tabla 7. Niveles de significancia para promedios de rendimiento de grano (t/ha) de arroz en doce poblaciones F_4 de dos esquemas de selección por rendimiento en generaciones tempranas, sus 25 parentales y cinco variedades testigos, en tres localidades de Colombia. 2002-A. 47

Tabla 8. Rendimiento promedio (t/ha) de las poblaciones F_4 del esquema 1 de selección de plantas de arroz con alto rendimiento en generaciones tempranas, en tres localidades de Colombia. 2002-A. 55

Tabla 9. Rendimiento promedio (t/ha) de las poblaciones F_4 del esquema 2 de selección de plantas de arroz con alto rendimiento en generaciones tempranas, en tres localidades de Colombia. 2002-A. 57

Tabla 10. Cuadrados medios del número de macollas, panículas y granos por m^2 y peso de 1000 granos (g) en arroz de doce poblaciones F_4 con dos esquemas de selección por rendimiento en generaciones tempranas, sus 25 parentales y cinco variedades testigos, en tres localidades de Colombia. 2002-A. 60

Tabla 11. Promedios de número de macollas, panículas y granos por m^2 y peso de 1000 granos (g) en las poblaciones F_4 del esquema 1 de selección de plantas de arroz con alto rendimiento en generaciones tempranas, en tres localidades de Colombia. 2002-A. 64

Tabla 12. Promedios de número de macollas, panículas y granos por m^2 y peso de 1000 granos (g) en las poblaciones F_4 del esquema 2 de selección de plantas de arroz con alto rendimiento en generaciones tempranas, en tres localidades de Colombia. 2002-A. 65

Tabla 13. Cuadrados medios de altura de planta, días a floración, granos por panícula y porcentaje de vaneamiento en arroz de doce poblaciones F_4 con dos esquemas de selección por rendimiento en generaciones tempranas, sus 25 parentales y cinco variedades testigos, en tres localidades de Colombia. 2002-A. 71

Tabla 14. Promedios de altura de planta (cm) y días a floración de las poblaciones F_4 del esquema 1 de selección de plantas de arroz con alto rendimiento en generaciones tempranas, en tres localidades de Colombia. 2002-A. 73

Tabla 15. Promedios de altura de planta (cm) y días a floración de las poblaciones F_4 del esquema 2 de selección de plantas de arroz con alto rendimiento en generaciones tempranas, en tres localidades de Colombia. 2002-A. 74

Tabla 16. Promedios de número de granos por panícula y porcentaje de vaneamiento de las poblaciones F_4 del esquema 1 de selección de plantas de arroz con alto rendimiento en generaciones tempranas, en tres localidades de Colombia. 2002-A. 79

Tabla 17. Promedios de número de granos por panícula y porcentaje de vaneamiento de las poblaciones F_4 del esquema 2 de selección de plantas de arroz con alto rendimiento en generaciones tempranas, en tres localidades de Colombia. 2002-A. 80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de los esquemas de selección F_2(secano favorecido) y F_2(riego) en cuatro localidades de selección y tres de evaluación por generación, año y semestre. 25

Figura 2. Temperatura máxima y mínima, brillo solar de siembra a cosecha en Palmira, Saldaña y Villavicencio. 2002-A. 29

Figura 3. Rendimiento promedio (t/ha) de dos esquemas de selección por rendimiento en generaciones tempranas de sus parentales y testigos en tres localidades de Colombia. 2002-A 51

Figura 4. Frecuencia de observaciones de rendimiento (t/ha) de las poblaciones F_4 de dos esquemas de selección de plantas con alto rendimiento en generaciones tempranas en tres localidades de Colombia. 2002-A. 53

Figura 5. Rendimiento promedio (t/ha) a través de localidades de las Poblaciones F4 en los dos esquemas de selección de plantas de arroz con alto rendimiento en generaciones tempranas en Colombia. 2002-A 58

Figura 6. Frecuencia de observaciones de número de macollas y panículas por m^2 de las poblaciones F_4 de dos esquemas de selección de plantas con alto rendimiento en generaciones tempranas en tres localidades de Colombia. 2002-A. 62

Figura 7. Frecuencia de observaciones del número de granos por m^2 de las poblaciones F_4 de dos esquemas de selección de plantas con alto rendimiento en generaciones tempranas en tres localidades de Colombia. 2002-A. 68

Figura 8. Frecuencia de observaciones de peso de 1000 granos (gr) de las poblaciones F_4 de dos esquemas de selección de plantas con alto rendimiento en generaciones tempranas en tres localidades de Colombia. 2002-A. 69

Figura 9. Frecuencia de observaciones de altura de planta (cm) de las poblaciones F_4 de dos esquemas de selección de plantas con alto rendimiento en generaciones tempranas en tres localidades de Colombia. 2002-A. 75

Figura 10. Frecuencia de observaciones de días a floración de las poblaciones F_4 de dos esquemas de selección de plantas con alto rendimiento en generaciones tempranas en tres localidades de Colombia. 2002-A. 77

Figura 11. Frecuencia de observaciones de granos llenos por panícula de las poblaciones F_4 de dos esquemas de selección de plantas con alto rendimiento en generaciones tempranas en tres localidades de Colombia. 2002-A. 81

Figura 12. Frecuencia de observaciones de porcentaje de vaneamiento de las poblaciones F_4 de dos esquemas de selección de plantas con alto rendimiento en generaciones tempranas en tres localidades de Colombia. 2002-A. 83

Figura 13. Porcentaje de vigor de planta aceptable (1-3)* y no aceptable (5-7)* de las poblaciones F_4 de dos esquemas de selección de plantas con alto rendimiento en generaciones tempranas en tres localidades de Colombia. 2002-A. 85

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Área, producción y rendimiento arroz en Colombia en riego y secano favorecido (1961-2000). 99

Anexo 2. Características agronómicas de los parentales de los doce cruzamientos triples del FLAR seleccionados en F_1. Palmira, Villavicencio, 1998. 101

Anexo 3. Cantidades de nutrientes en kg/ha y épocas de suministro aplicados en las tres localidades. 2002. 102

RESUMEN

Los datos obtenidos en las diferentes pruebas regionales en el sistema de arroz-riego sugieren que el potencial de rendimiento no se ha modificado significativamente. Una de las posibles causas, puede ser la selección obligada de las plantas F_2 en condiciones de arroz secano favorecido (ambiente estrés) seleccionando primero por resistencia a enfermedades y luego por rendimiento. Con el fin de determinar si hay diferencias entre dos esquemas de selección en arroz, en generaciones tempranas de plantas con alto potencial de rendimiento de grano en el sistema arroz-riego en Colombia se realizó la siguiente investigación. Se utilizaron doce cruzamientos triples. La selección fenotípica de las plantas F_1 se realizó en el CIAT, Palmira en el 2000-B; luego las plantas F_2 de los dos esquemas F_2 (secano favorecido) y F_2 (riego) se seleccionaron en Villavicencio y Saldaña respectivamente en el 2001-A. Después, las plantas F_3 del esquema F_2 (secano favorecido) fueron sembradas en Palmira y las del esquema F_2 (riego) en Montería en el 2001-B. Posteriormente las plantas F_4 de cada esquema se evaluaron en forma de masal balanceado junto con los parentales de los doce cruzamientos y cinco variedades comerciales testigos en las localidades de Palmira, Saldaña y Villavicencio durante el 2002-A. Los resultados mostraron que no hubo diferencias en el rendimiento de grano entre el esquema 1 (F_2 secano favorecido - F_3 riego) y el esquema 2 (F_2 riego - F_3 riego) y que el efecto de la

localidad fue más importante en el comportamiento de las poblaciones F_4 que los esquemas de selección. Las características agronómicas: número de macollas, panículas y granos por m^2, peso de 1000 granos no se diferenciaron entre los esquemas de selección y las mismas no variaron a través de las localidades. En otras cinco características agronómicas: altura de planta, días a floración, número de granos por panícula, porcentaje de vaneamiento y vigor de planta no hubo diferencias entre los esquemas, pero si presentaron interacción esquema por localidad.

Palabras claves: Esquema, Selección fenotípica, Generaciones tempranas

SUMMARY

The data obtained in the different regional tests in the rice irrigated system suggest that the yield potential has not modified significantly. One of the possible causes, it can be the forced selection of the plants F_2 under rice rainfed land conditions (environment stress) selecting first for resistance to diseases and then for yield. With the purpose of determining if there are differences between two selection outlines in rice, in early generations of plants with high potential of grain yield in the system rice irrigated in Colombia was carried out the following investigation. Twelve triple cross was used. The selection phenotypic of the plants F_1 was carried out in the CIAT, Palmira in the 2000-B; then the plants F_2 of the two outlines F_2 (rainfed conditions) and F_2 (irrigated) they were selected respectively in Villavicencio and Saldaña in the 2001-A. Then, the plants F_3 of the outline F_2 (rainfed conditions) they were sowed in Palmira and those of the outline F_2 (irrigated) in Monteria in the 2001-B. Later on the plants F_4 of each outline were evaluated in bulk form balanced together with the parentales of the twelve cross and five varieties commercial testings in the locations of Palmira, Saldaña and Villavicencio during the 2002-A. The results showed that there were not differences in the grain yield among the outline 1 (F_2 rainfed conditions - F_3 irrigated) and the outline 2 (F_2 irrigated - F_3 irrigated) and that the effect of the locations was more important in the behavior of the populations F_4 than the selection outlines. The

agronomic characteristics: tillers number, panicles and grains for m^2, 1000 grains weight they didn't differ between the selection outlines and the same ones they didn't vary through the locations. In other five agronomic characteristics: plant height, flowering date, number of grains for panicles, unfilled grain panicle percentage and plant vigor didn't have differences among the outlines, but if they presented interaction outline for location.

Keywords: Outline, selection phenotypic, early generations.

INTRODUCCION

El arroz es el principal alimento para la mitad de la población mundial (Lampe, 1995) y proporciona cerca del 22 por ciento de la energía y el 15 por ciento de la proteína per cápita humana (Cohen, *et al* 1999). En el 2001, en el ámbito mundial se sembraron 151 millones de hectáreas que produjeron 592 millones de toneladas con un rendimiento de 3.9 t/ha de grano (FAO, 2001).

En el cultivo del arroz en Colombia predominan dos sistemas de producción conocidos como el sistema arroz-riego y el arroz-secano mecanizado. Además, existe otro sistema de menor importancia denominado arroz-secano manual. En el 2001 se sembraron 491.000 hectáreas de las cuales 302.000 (62%) estuvieron en el sistema riego; 164.000 (33%) en secano favorecido (mecanizado) y 25.000 (5%) en secano manual (FEDEARROZ, 2001); y la producción total fue de 2.3 millones de toneladas con un rendimiento de 4.8 t/ha (FEDEARROZ, 2001).

Jennings (1964) propuso el modelo de planta semi-enano para mejorar los rendimientos de grano en arroz del trópico. La diseminación de este tipo de planta mejorado a través de Latinoamérica se inició en Colombia en 1966 a través de los trabajos realizados por el programa colaborativo de mejoramiento de arroz conformado por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), el Instituto

Colombiano Agropecuario (ICA) y la Federación Nacional de Arroceros de Colombia (FEDEARROZ) (IRRI, 1968).

Los fitomejoradores aprovecharon las ventajas que ofrecía Colombia por su diversidad de ambientes para el desarrollo de variedades mejoradas, las cuales incrementaron los rendimientos a través de la incorporación de genes de resistencia a enfermedades e insectos plagas, buena respuesta a la fertilización y una mejor calidad molinera y culinaria del grano.

En la década de 1961 a 1969 los rendimientos en Colombia eran muy bajos; según Scobie y Posada (1977) éstos pasaron de 1.5 toneladas por hectárea en 1965 a 4.4 en 1975. Entre 1970 y 1979 se hizo énfasis en mejorar el potencial de rendimiento, mientras que, entre 1980 y 1989 se dio mayor énfasis a la tolerancia a enfermedades, insectos plagas y mejoramiento de la calidad de grano, con la premisa de mantener o aumentar los rendimientos. Cuevas-Pérez *et al* (1995) reportan una tasa de crecimiento en el rendimiento de 0.13 tonelada/hectárea/año de 1971 a 1989. Entre 1990 y 2000 el rendimiento pasó de 4.4 a 4.9 toneladas por hectárea (FEDEARROZ, 2001). Sanint (2000) reporta que en el periodo de 1997 a 1999 la producción promedio nacional fue de 4.8 toneladas por hectárea la cual se podría mejorar en 1.0 a 1.2 toneladas. En el anexo 1 se reporta el área, producción y rendimiento para los sistemas arroz-riego y arroz-secano favorecido en Colombia desde 1961 a 2001 (FEDEARROZ, 2001)

En la última década (1991-2000) se han desarrollado líneas avanzadas con buena resistencia a enfermedades y plagas y con excelente calidad molinera y culinaria; pero esto no se ha traducido en el incremento del potencial de rendimiento de grano. Los datos obtenidos en las diferentes pruebas regionales en el sistema de arroz-riego sugieren que el potencial de rendimiento no se ha modificado significativamente (Martínez *et al*. 1995). Una de las posibles causas, puede ser la selección de las plantas F_2 en condiciones de arroz-secano (ambiente estrés) seleccionando primero por resistencia a enfermedades y luego por rendimiento; lo anterior, explicado en gran parte porque la selección en F_2 a partir de 1985 se ha realizado en Villavicencio (ambiente estrés) que pertenece al sistema arroz-secano, alternando las generaciones posteriores con Palmira (ambiente óptimo) y que hace parte del sistema arroz-riego.

En el proceso de selección de variedades, la generación F_2 es muy importante porque muchas de las características a mejorar tales como: altura y arquitectura de la planta, macollamiento, vigor, ciclo vegetativo, tipo de panícula y tipo de grano, se fijan rápidamente en las generaciones tempranas. Además, el criterio de selección de las plantas en F2 depende en alto grado del sistema de producción hacia el cual se dirige el programa de mejoramiento (Jennings, *et. al*. 1981). Por otra parte, el ambiente de selección condiciona significativamente los resultados del proceso y también puede condicionar otras expresiones al nivel de poblaciones (varianzas genotípicas y ambientales, heredabilidad, respuestas a selección, etc.) que influyen directamente en los resultados esperados de la selección en ciertos

rangos ambientales. En principio, es factible encontrar (y existen en la práctica) ambientes de expresión con mayor capacidad predictiva del comportamiento genotípico que otros, lo que les otorga ventajas desde el punto de vista de la labor del mejoramiento genético (Mariotti, 1986). Los objetivos principales fueron:

Determinar si hay diferencias entre los dos esquemas de selección en generaciones tempranas: F_2 (secano favorecido) y F_2 (riego) de plantas con alto potencial de rendimiento de grano en el sistema arroz-riego en Colombia.

Comparar otras características agronómicas de las generaciones F_4 en cada esquema y determinar si hay diferencias entre los mismos.

Determinar la interacción esquema por localidad del carácter rendimiento y otras características agronómicas.

REVISION DE LITERATURA

Se presenta una revisión acerca de la importancia del fenotipo y de la interacción genotipo por ambiente, la selección en generaciones tempranas y el tipo de planta, los factores relacionados con el incremento del rendimiento, los componentes de rendimiento: correlaciones genéticas, heredabilidad y tipos de variación; las etapas en un programa de mejoramiento por alto potencial de rendimiento, los ambientes y las estrategias ó esquemas de selección.

1. 1. El fenotipo y la interacción genotipo por ambiente.

El "fenotipo" es la expresión última del "genotipo". En consecuencia, es el objeto de la medición y la base misma de la selección. En una interpretación simplificada del fenotipo, podría sugerirse que éste es el resultante de los efectos conjuntos (idealmente independientes) del genotipo y el ambiente. El fitomejorador se interesa en identificar los mejores fenotipos de la población, en armonía con su objetivo de selección (por ejemplo, rendimiento). La selección de los mejores fenotipos de la población implica no sólo la probable selección de los mejores

genotipos (lo que es objetivo del seleccionador), sino también la de los mejores ambientes de expresión, y las interacciones de genotipos y ambientes particulares favorables a la expresión del carácter en cuestión (Mariotti, 1986).

El conocimiento de las interacciones entre el tipo de planta, la habilidad para alto rendimiento y la competencia, así como también, la interacción genotipo por ambiente, ha conducido a los programas de mejoramiento a modificar o combinar los métodos de selección para adecuarlos a las condiciones particulares. Los investigadores en arroz, deben estudiar y determinar los sistemas de producción hacia los cuales están enfocando su investigación y mejoramiento varietal. El ecosistema de producción define el tipo de planta de mayor utilidad (Jennings *et al,* 1981).

El principal objetivo del mejorador de plantas es efectuar cambios favorables en la frecuencia de los genes produciendo un máximo de ganancia genética dentro del material a mejorar; así a través del conocimiento de la magnitud relativa de la interacción genotipo por ambiente (G x A) se puede obtener el número óptimo de repeticiones, localidades y años para ensayos de competencia maximizando las ganancias genéticas por selección (Nakano, 1990).

Muchos fitomejoradores seleccionan cultivares que se comporten bien en un amplio rango de ambientes; sin embargo, la identificación de tales cultivares con una amplia estabilidad ó adaptabilidad comienza a ser difícil cuando la respuesta

fenotípica a los cambios en el ambiente varía a través de los fenotipos que se están evaluando. Según Comstock y Moll (1963) la interacción (GxA) puede reducir el progreso de la selección y puede causar dificultades en la identificación de cultivares superiores. En el desarrollo del presente estudio los términos estabilidad y adaptabilidad se usarán como sinónimos y se refieren a la capacidad de un determinado genotipo a responder positivamente a condiciones ambientales favorables tales como riego, adecuada fertilidad, temperatura y heliofanía óptimas, ausencia de malezas, plagas y enfermedades, buen manejo agronómico, etc. Es decir, se utilizará el sentido agronómico de estabilidad (Becker, 1981).

Existen numerosos estudios de estabilidad encaminados a facilitarle al fitomejorador la identificación de cultivares superiores en la presencia de la interacción GxA. Todos ellos proveen información que ayuda a clasificar los cultivares por niveles de estabilidad (Lin *et al,* 1986). Cuando se hace selección en presencia de la interacción GxA se debe tener en cuenta la importancia de la estabilidad relativa del cultivar y su promedio de rendimiento a través de los ambientes (Eskridge, 1990).

1.2. La selección en generaciones tempranas y el tipo de planta.

La selección dirigida es el procedimiento más eficaz para impulsar el progreso genético, aunque quizás sea también la instancia más crítica en el proceso del mejoramiento genético de las plantas.

Los diferentes métodos de selección en poblaciones segregantes de arroz están enfocados en aquellas generaciones donde se hace primero la selección para rendimiento y donde la competencia entre plantas afecta ese potencial (Ntanos y Roupakias, 2001).

Nagai (1962), citado por Ntanos y Roupakias (2001) señaló que la selección rigurosa por pedigrí en generaciones tempranas de arroz puede originar pérdidas de genotipos deseables, los cuales se podrían seleccionar en generaciones posteriores como líneas homocigotas. También, Sakai (1951) citado por Ntanos y Roupakias (2001) menciona que la competencia entre individuos en una población segregante es considerable y que disminuye la confiabilidad de la selección; por ello, este autor considera que la selección masal es más efectiva que la selección por pedigrí.

De Pauw y Shebeski (1973) encontraron que la selección de plantas individuales en generaciones tempranas fue efectiva para caracteres cualitativos en trigo (*Triticum aestivum* L.) e inefectiva para caracteres cuantitativos tales como rendimiento de grano. Esto fue confirmado en cebada (*Hordeum vulgare* L.) por Hanson *et al* (1979), citado por Ntanos y Roupakias (2001). Simmonds (1979) reporta que la selección clásica por pedigrí fue efectiva en generaciones tempranas (bajo competencia) solamente para caracteres de alta heredabilidad tales como tamaño de grano; en contraste con Mckenzie y Lambert (1961) y Sneep (1977) que sugieren que la selección para genotipos de alto rendimiento debe ser hecha en la generación F_2 y en las generaciones segregantes posteriores. Adicionalmente, Mitchell *et al* (1982), Lungu *et al* (1987), Roupakias *et al* (1997) reportan selecciones exitosas para rendimiento en poblaciones F_2 de trigo duro (*Triticum turgidum* L. var. *durum*), trigo de primavera, haba (*Vicia faba* L.) y algodón (*Gossypium hirsutum* L.) respectivamente, cuando las plantas se desarrollaron en un diseño "panal de abejas". Fasoulas y Fasoulas (1995) encontraron que la selección por pedigrí en un diseño "panal de abejas" a baja densidad en una población, es efectiva para los caracteres rendimiento y calidad de grano.

Yonezawa (1997) opina que el método más eficiente para evaluar la capacidad de rendimiento en generaciones segregantes es probablemente la evaluación visual tradicional para el tipo de planta y los componentes de rendimiento. Sin embargo, en fríjol común (*Phaseolus vulgaris* L.), la selección visual para rendimiento de

semilla en plantas individuales F_2 y progenies por surcos de F_3, no fue efectiva (Patiño y Singh, 1989); mientras que, la producción de grano per se, a través del rendimiento de semilla y sus componentes fue el criterio de selección más efectivo. (Nienhuis y Singh, 1988b).

La selección en generaciones tempranas está basada en los caracteres cualitativos que tienen alta heredabilidad y son fáciles de medir y evaluar. Estos caracteres no solo incluyen características morfológicas las cuales son controladas por genes mayores sino también algunos caracteres poligénicos, que pueden ser evaluados y son altamente heredables tales como: índice de cosecha, días a floración, longitud del tallo, tipo y vigor de planta. En las poblaciones segregantes hechas con parentales divergentes, la selección visual también puede ser efectiva para los componentes de rendimiento: tipo y tamaño de panícula, número y tamaño de granos por panícula y fertilidad del grano (Yonezawa, 1997).

En la generación F_2 aparecen repetidamente el tipo de planta "deseable"; para ello, debe sembrarse en un ambiente óptimo donde la variación genética sea máxima y puedan identificarse este tipo de plantas. Jennings *et al* (1981) propusieron que las plantas F_2 consideradas adecuadas para el sistema arroz-riego deben poseer: buen vigor inicial y de planta, alta capacidad efectiva de macollamiento, alto índice de cosecha, uniformidad en altura y floración, tallos fuertes y flexibles, hojas cortas, erectas y con senescencia retardada y panículas pesadas, fértiles y con buena excersión.

En estudios realizados por el IRRI (1974) mostraron que hay diferencias varietales en el tipo de planta al seleccionar bajo diferentes regímenes de humedad ó patrones de lluvia. Las plantas de las líneas F_5 seleccionadas en secano tendieron a ser altas, con baja capacidad de macollamiento, relativamente pocas hojas, de color verde pálido, con panículas largas y maduración temprana; mientras que, las seleccionadas en riego presentaron alta capacidad de macollamiento, altura intermedia, muchas hojas verdes oscuras, tardías y con panículas cortas.

1.3. Los factores relacionados con el incremento del rendimiento.

Los incrementos en el rendimiento han sido más significativos por el logro de variedades de alto rendimiento bien adaptadas a condiciones de difícil manejo que al mejoramiento de los métodos de cultivo. Las variedades nuevas tienen tallos y panículas cortas, pero en mayor número que las variedades antiguas; las diferencias también pueden encontrarse en la forma de las hojas: mientras las variedades antiguas tienen hojas largas y caídas las nuevas las tienen relativamente cortas y semi-erectas. Basado en este antecedente de mejoramiento, se desarrolló un modelo para lograr altos rendimientos conocido como la teoría del "tipo de planta" (Tsonuda *et al,* 1962), citado por Yonezawa (1997).

En 1966, el Instituto Internacional de Investigación en Arroz IRRI, liberó una serie de nuevas variedades con altos rendimientos representadas en la variedad IR 8, creadas de acuerdo con la teoría anterior. Estas variedades fueron la base de la "revolución verde" (Yonezawa, 1997).

En Latinoamérica la introducción de IR 8 y otros cultivares nuevos a los programas de mejoramiento trajo como consecuencia que en 1989 la base genética del arroz riego se redujo a 22 cultivares nativos diferentes, los cuales aportaban el 83 por ciento de la variabilidad genética (Cuevas-Pérez *et al.,* 1992). A partir de ese año se vio la necesidad de ampliar la base genética para incrementar la producción al introducir nuevos genes en las poblaciones básicas de mejoramiento y reducir los coeficientes de parentesco entre las nuevas variedades.

En la selección de genotipos con alto potencial de rendimiento pueden obtenerse mínimos avances con el modelo tradicional. En tal situación el incremento en la tasa de rendimiento a través del mejoramiento decrece gradualmente. Una opción radica en crear una gran variación genética a través de cultivares y líneas que no estén relacionadas y tengan características fenotípicas con grandes diferencias; luego con la selección de esas variaciones genotípicas, las cuales son excelentes en cualquier componente de rendimiento (granos por panícula y peso de grano) ó caracteres relacionados con el mismo (arquitectura de planta con tallos fuertes y alto número de macollas efectivas, alto vigor desde plántula), se logra llegar al

nuevo tipo de planta ideal para el sistema arroz riego en el trópico (Yonezawa, 1997).

1.4. Los componentes de rendimiento: correlaciones genéticas, heredabilidad y tipos de variación.

El rendimiento es el resultado de varios componentes que son determinados en diferentes estados en el crecimiento y desarrollo del arroz. Yoshida (1981) menciona los siguientes:

Componente de rendimiento:	Determinado durante (estado):
número de panículas por m^2	macollamiento
número de espículas por panícula	diferenciación y desarrollo de la panícula.
porcentaje de espículas llenas	meiosis, antesis e inicio de llenado de grano.
peso de grano	llenado de grano.

En un programa de mejoramiento cuyo objetivo es mejorar un carácter compuesto como la habilidad de alto rendimiento y que está determinado por una combinación de muchos caracteres ó componentes de rendimiento, el

conocimiento de las correlaciones genéticas a través de estos componentes es muy necesario para definir el criterio óptimo de selección.

Los cambios en cada componente pueden afectar el rendimiento porque las correlaciones entre los componentes son generalmente altas y negativas. Es posible que un cultivar que presente un número bajo de panículas tenga un rendimiento alto al compensar con un elevado número de granos por panícula (Mackill *et al*, 1996).

Las correlaciones entre panículas por planta con longitud de panícula, peso de panícula, granos por panícula y peso de grano y la correlación entre granos por panícula y peso de grano son siempre negativas (excepto en pocos casos) en comparación con la correlación entre longitud de panícula con peso de panícula, granos por panícula y peso de grano, que son positivas. Esta consistencia alta en el signo de correlación sugiere que esas correlaciones genéticas negativas y positivas son fundamentales y difíciles de romper (Yonezawa, 1997).

La selección de panículas largas aumenta el tamaño del vertedero solamente sí el número de panículas por m^2 se puede mantener. La vía para desarticular la correlación negativa entre estos dos componentes, es incrementar la producción de biomasa durante la fase de desarrollo de la panícula (Slafer *et al,* 1996). En arroz, el número de granos por m^2 fue altamente correlacionado con la acumulación de materia seca desde el inicio de panícula hasta la floración (Kropff

et al. 1994), mientras el llenado de grano depende de la acumulación de biomasa desde la floración hasta la madurez (Yoshida, 1981). La tasa de llenado de grano parece ser controlada por la morfología de la panícula y la estructura del número de granos en cada ramificación (Yonezawa, 1997).

Chau y Bhargava (1993), estudiaron las bases fisiológicas para alta productividad en arroz y encontraron que el rendimiento de grano fue correlacionado positivamente con la producción de materia seca total en posfloración, número de granos por m^2, tamaño del vertedero y duración del área foliar durante el llenado de grano; y negativamente, con el índice de área foliar (IAF) y la materia seca total (MST). El mayor tamaño del vertedero es debido al alto número de granos por m^2, panícula más pesada, mayor número de espiguillas en las ramificaciones primarias y alto número de éstas.

Universalmente se han realizado numerosos estudios sobre heredabilidades de caracteres cualitativos y cuantitativos relacionados con el rendimiento de grano en arroz. Los valores de estos estudios no solo dependen del material experimental sino también de los métodos de estimación y de las condiciones del experimento. Por lo tanto, al conducir selecciones en determinados caracteres y localidades deben estimarse las heredabilidades para esas condiciones. La teoría de la genética biométrica predice que los valores de heredabilidad llegan a ser altos en generaciones avanzadas y dentro de la misma generación (Yonezawa, 1997)

Las variaciones genéticas de los componentes de rendimiento son en su mayoría continuas y controladas por poligenes. Sin embargo, genes mayores están involucrados en algunos caracteres como: macollamiento con muy pocos genes (Futsuhara y Yanmaguchi, 1963; Takamure y Kinoshita, 1985), densidad de grano (Murai *et al.,* 1978) y tamaño de grano (Takeda y Saito, 1980; Takita 1986), citados por Yonezawa (1997). Los genes mayores para tamaño de grano pueden ser utilizados en el futuro del mejoramiento por alto rendimiento.

Los resultados de los análisis dialélicos de los caracteres: panículas por planta, longitud de panícula, granos por panícula, peso de grano, longitud y ancho del grano en su mayoría, muestran un modelo genético simple compuesto solamente por efectos de genes aditivos y dominantes. Aunque algunos efectos dominantes están involucrados, el mayor componente de la variación se debe a efectos causados por genes aditivos, indicando que estos caracteres están controlados por un sistema genético relativamente simple. Por lo tanto, la selección en generaciones tempranas puede ser efectiva para la longitud de panícula, granos por panícula, peso, longitud y ancho del grano, exceptuando el número de panículas porque lo afecta mucho el ambiente (Yonezawa, 1997).

1.5. Etapas en un programa de mejoramiento por alto potencial de rendimiento.

Yonezawa (1997) propone las siguientes etapas. Primero definir el objetivo del mejoramiento en términos de la característica a ser mejorada, en otras palabras, cuál de los componentes de rendimiento o característica relacionada y cómo va a ser mejorada. El próximo paso es la escogencia de los materiales y métodos de mejoramiento de acuerdo con el modelo adoptado. Una vez escogidos los materiales y métodos el próximo paso es definir los procedimientos apropiados de selección en las poblaciones segregantes creadas por hibridación u otros medios. La disminución en la escala de selección reduce la probabilidad de encontrar genotipos deseables. Las estrategias de selección deben considerar en este punto la oportunidad de obtener genotipos deseables en un tiempo, y condiciones posibles.

En resumen, la clave para la selección eficiente es examinar muchos cruzamientos y tantas plantas o líneas en cada cruzamiento como sea posible, usando métodos de evaluación relativamente sencillos. Puede ser ineficiente adoptar y gastar más recursos con métodos de alta precisión que sacrifican la escala de evaluación (número de cruzamientos, planta o líneas para cada cruzamiento). La selección debe iniciarse en generaciones tempranas acumulando

caracteres heredables tales como: días a floración, longitud de tallo, vigor, tipo de planta y tolerancia a enfermedades (Yonezawa, 1997).

1.6. Los ambientes de selección.

Los mejoradores de plantas han debatido mucho sobre el mejor ambiente para seleccionar por rendimiento, por ejemplo, aquel donde se maximiza la eficiencia y la efectividad de un programa de mejoramiento a largo plazo (Hill *et al,* 1998).

El conocimiento de cómo la interacción genotipo por ambiente afecta el progreso de selección es de gran importancia para el mejoramiento de plantas. Las consecuencias de la selección en un ambiente y la respuesta en otro ambiente relacionado determinan cuales modificaciones se deben realizar en un programa de mejoramiento pensando en seleccionar para amplia adaptación, estrecha adaptación o la basada en el comportamiento medio de varios ambientes (Perkins y Jinks, 1971; Jinks y Connolly, 1973).

La escogencia del ambiente apropiado para la discriminación entre genotipos tiene gran influencia en el éxito de un esquema de selección. Freeman (1973), sugiere que, en un programa práctico de mejoramiento es deseable capitalizar las

interacciones genotipo por ambiente para encontrar los ambientes donde los efectos genotípicos de interés sean maximizados.

El ambiente óptimo para la selección se define como aquel en el cual se maximiza la variación genética por la disminución de la varianza ambiental mediante un mejor control local; o por algún efecto ambiental capaz de inducir una mejor discriminación entre los genotipos, independientemente del efecto sobre los errores para lograr una mejor respuesta a la selección (Mariotti, 1986).

Algunos autores han sugerido que los ambientes de alta producción son los más apropiados para seleccionar genotipos superiores porque proporcionan una mayor discriminación entre ellos (Alanis 1966, Johnson y Frey 1967, Allen *et al,* 1978; Brennan y Byth, 1979). Por otro lado, también se argumenta que los ambientes favorables tienen poca semejanza con las condiciones de lotes comerciales, y que por lo tanto, la selección debe ser conducida en ambientes muy relacionados con las condiciones del agricultor (Hinson y Hanson, 1962; Lin y Wu, 1974).

Existen tres estrategias que han sido consideradas en relación con el ambiente óptimo para la selección. La primera está basada en el supuesto de que las características sean las mismas de un ambiente en donde las condiciones de crecimiento y desarrollo de la planta son óptimos o cercanos al óptimo. La segunda asume que el óptimo ambiente(s) para selección debe ser tan representativo como sea posible de la población de ambientes objetivos (Blum,

1988). Cuando el programa de mejoramiento sirve a una población objetivo de ambientes muy diversos, donde la interacción de genotipo por ambiente sea grande, la selección debe ser para adaptación especifica a través de una selección descentralizada o para el ambiente específico, (Simmonds, 1984, Ceccarelli *et al,* 1998). En la tercera estrategia, se alternan las condiciones óptimas y las de "estrés" para seleccionar genotipos que rindan bien en ambas condiciones (Calhoun *et al,* 1994).

El uso de ambientes similares al ambiente objetivo en los estados tempranos de selección no es cuestionado para ambientes favorables, pero existe controversia para ambientes con estrés. El mejoramiento para esos ambientes es lento y difícil, porque la frecuencia, duración y severidad del estrés abiótico tales como temperaturas extremas y sequía son impredecibles y variables (Ceccarelli *et al,* 1998).

Simmonds (1991), revisó y confirmó las bases teóricas acerca del ambiente óptimo para la selección y concluyó que para dos ambientes, la selección directa (selección en el ambiente objetivo), es siempre más eficiente que la selección indirecta (selección en un ambiente diferente).

1.7. Las estrategias ó esquemas de selección.

En el proceso del mejoramiento de arroz se han evaluado la eficiencia y efectividad de aplicar distintas estrategias y métodos de selección para diferentes características, incluyendo rendimiento de grano.

Robayo (1976), evaluó tres estrategias de selección con el objetivo de conocer el efecto de seleccionar en generaciones segregantes en condiciones de riego y/o secano; luego, con líneas avanzadas, evaluó el comportamiento de ellas en condiciones de secano. Para lo anterior utilizó el método de pedigrí a partir de seis cruzamientos, aplicando selección bajo tres esquemas: F_2 y F_3 en riego, F_2 y F_3 en secano y F_2-riego alternando con F_3-secano. Para el ensayo, avanzó en forma masal la semilla desde F_4 hasta F_6. Bajo condiciones de secano evaluó el rendimiento y otras variables agronómicas en veinte líneas seleccionadas de dos cruzamientos. Los resultados indicaron que no hubo diferencias significativas para rendimiento entre cruzamientos ni entre esquemas. Algunos componentes de rendimiento (peso de 100 granos y número de tallos por m^2) presentaron diferencias entre cruzamientos pero no entre esquemas. La interacción cruzamiento por esquema no fue significativa, lo que indicó que los cruzamientos presentaron similar comportamiento bajo los distintos esquemas.

Nakano (1990), estimó la eficiencia de la selección simultánea de arroz en várzea húmeda (cultivo de arroz en áreas bajas y a orillas de los ríos, con suelos saturados de agua durante el ciclo de cultivo), con y sin riego controlado. Para lo anterior utilizó líneas de arroz-riego y de várzea obtenidas independientemente de dos cruzamientos (Cica 8/Metica 1 y 17388//7153/5738), en cada uno de los sistemas de cultivo (arroz-riego y várzea húmeda), respectivamente, y las evaluó en los dos ambientes. Los resultados mostraron la superioridad de las ganancias genéticas en las líneas de várzeas, junto con los altos valores para las correlaciones entre ambientes y coeficientes de concordancia, indicando que puede ser perfectamente viable el desarrollo de un programa de mejoramiento genético de arroz riego, con selecciones iniciales (hasta F_5) en várzea húmeda, y con evaluaciones y selecciones finales en los dos sistemas de cultivo, independientemente.

Soarez *et al*. (1995), realizaron otra comparación de esquemas de selección para los sistemas de riego y secano, donde se quería conocer el efecto de seleccionar independientemente en cada condición las generaciones F_2 y F_3, líneas que luego en F_4, se condujeron en forma conjunta tanto en riego por inundación como en secano húmedo. Para ello, realizaron ensayos durante dos años en ambas condiciones, utilizando líneas F_6 provenientes de dos cruzamientos y seleccionadas en la generación F_4. Los resultados indicaron que se puede utilizar las mismas líneas para ambos sistemas, por lo que recomiendan conducir las poblaciones segregantes sólo bajo riego; y luego, desde F_4, llevar las líneas a

cada condición para realizar la selección en forma independiente, y así reducir el costo y el esfuerzo en la obtención de líneas superiores.

Graterol (1997), evaluó 410 líneas de ocho cruzamientos obtenidas mediante seis estrategias de selección para resistencia a piricularia (*Pyricularia grisea* (Cooke) Sacc.), combinando las selecciones a partir de las generaciones F_2, F_3 y F_4. Los resultados indicaron que la eficiencia de las estrategias estimada como la proporción de líneas resistentes con relación al total evaluado por estrategia, depende de los cruzamientos debido a la acción de los diferentes genes de resistencia aportados por los parentales. Además, las estrategias donde se aplicó el método de pedigrí, fueron igualmente eficientes que aquellas donde se empleó el método masal en la F_2 y F_3, siempre utilizando para la selección la Estación Experimental Santa Rosa, Villavicencio, Colombia.

MATERIALES Y METODOS

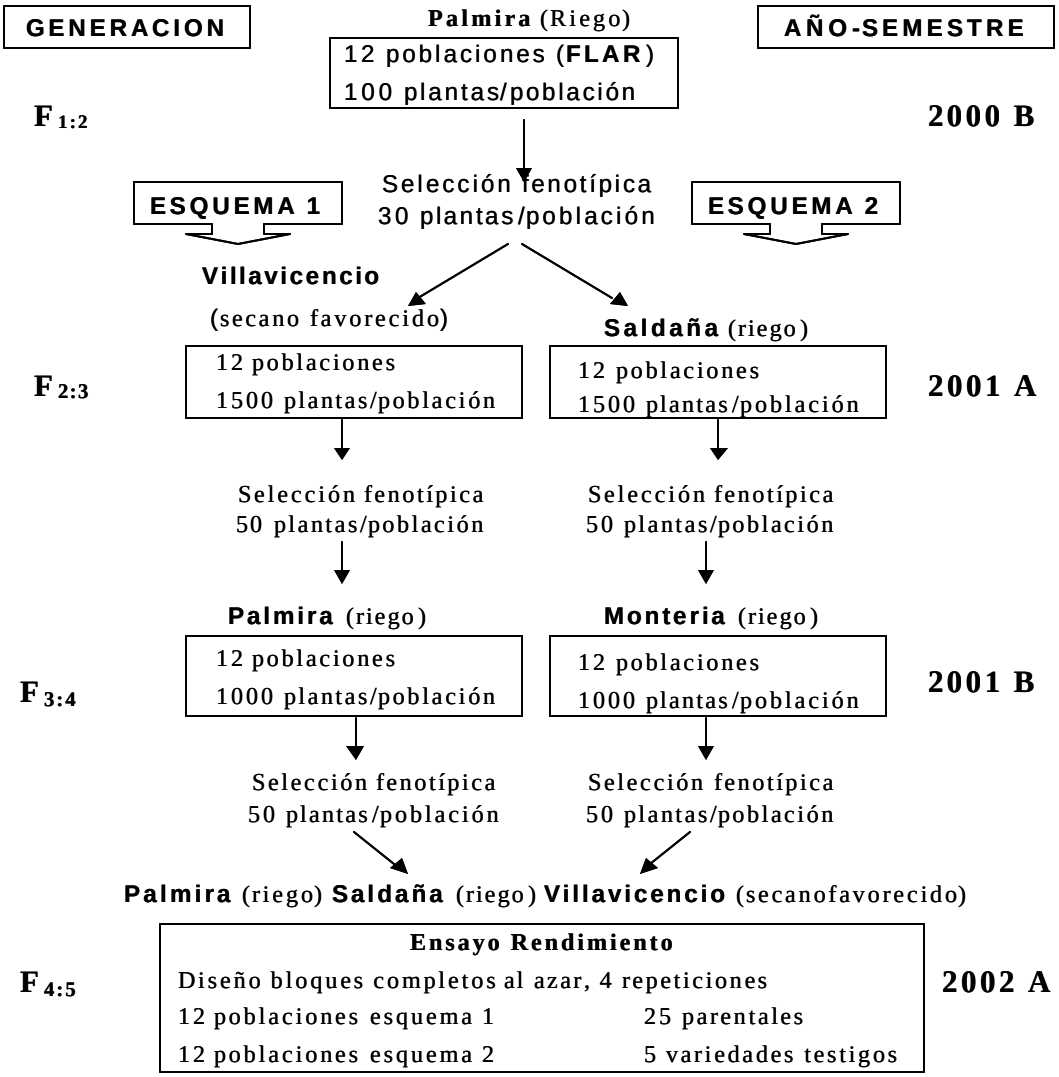
Se utilizaron doce cruzamientos triples realizados por el programa de mejoramiento de arroz riego para el trópico del Fondo Latinoamericano de Arroz-Riego (FLAR), ubicado en el CIAT, Palmira. Las selecciones en las generaciones desde F_1 hasta F_3 se hicieron siguiendo dos esquemas previamente establecidos, en los cuales se alternaron los sitios de selección desde el segundo semestre del 2000, hasta el segundo semestre del 2001; luego se usó la generación F_4 para la evaluación de dichos esquemas en el primer semestre del 2002 en tres localidades arroceras de Colombia.

2.1. Descripción de los esquemas.

La selección de las plantas F_1 de los doce cruzamientos se realizó en el CIAT, Palmira en el 2000-B; luego las plantas F_2 de los dos esquemas F_2 (secano favorecido) y F_2 (riego) se seleccionaron en Villavicencio y Saldaña respectivamente en el 2001-A. Después, las plantas F_3 del esquema F_2 (secano favorecido) fueron sembradas en Palmira y las del esquema F_2 (riego) en Montería

en el 2001-B. Posteriormente las plantas F_4 de cada esquema se evaluaron en forma de masal balanceado junto con los parentales de los doce cruzamientos y cinco variedades comerciales testigos en las localidades de Palmira, Saldaña y Villavicencio durante el 2002-A. En la Figura 1 se presentan los dos esquemas de selección y las localidades de evaluación de los mismos.

Figura 1. Diagrama de los esquemas de selección F_2(secano favorecido) y F_2(riego) en cuatro localidades de selección y tres de evaluación por generación, año y semestre.



2.2. Descripción y condiciones climáticas en las localidades de selección y evaluación.

La ubicación, temperaturas y brillo solar promedios anuales de las cuatro localidades de selección: Palmira, Saldaña, Villavicencio y Montería, se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Ubicación y características del clima promedio anual de las cuatro localidades de selección.

	Palmira CIAT[1]	Saldaña EE. las lagunas[2]	Villavicencio EE Santa Rosa[3]	Montería EE La Victoria[4]
Latitud	3º 31' N	3º 56' N	4º 03' N	8º 89' N
Longitud	76º 21' W	75º 01' W	73º 29' W	75º 09' W
Elevación	965 m	310 m	430 m	20 m
Temperatura promedio (ºC)	24	27	25	28
Temperatura mínima (ºC)	19.1	21.6	20.5	23.7
Temperatura máxima (ºC)	29.3	32.9	30.8	33.6
Brillo solar (horas / día)	5.6	5.8	5.3	6.1

1: CIAT: Centro Internacional de Agricultura Tropical.
2: EE Las Lagunas: Estación Experimental Las Lagunas, Federación Nacional de Arroceros de Colombia, FEDEARROZ.
3: EE Santa Rosa: Estación Experimental Santa Rosa, Federación Nacional de Arroceros de Colombia, FEDEARROZ.
4: EE La Victoria: Estación Experimental La Victoria, Federación Nacional de Arroceros de Colombia, FEDEARROZ.

Además, en la Tabla 2, se incluyen algunas características del suelo, sistemas y limitantes del cultivo y las épocas de siembra y cosecha en las anteriores localidades.

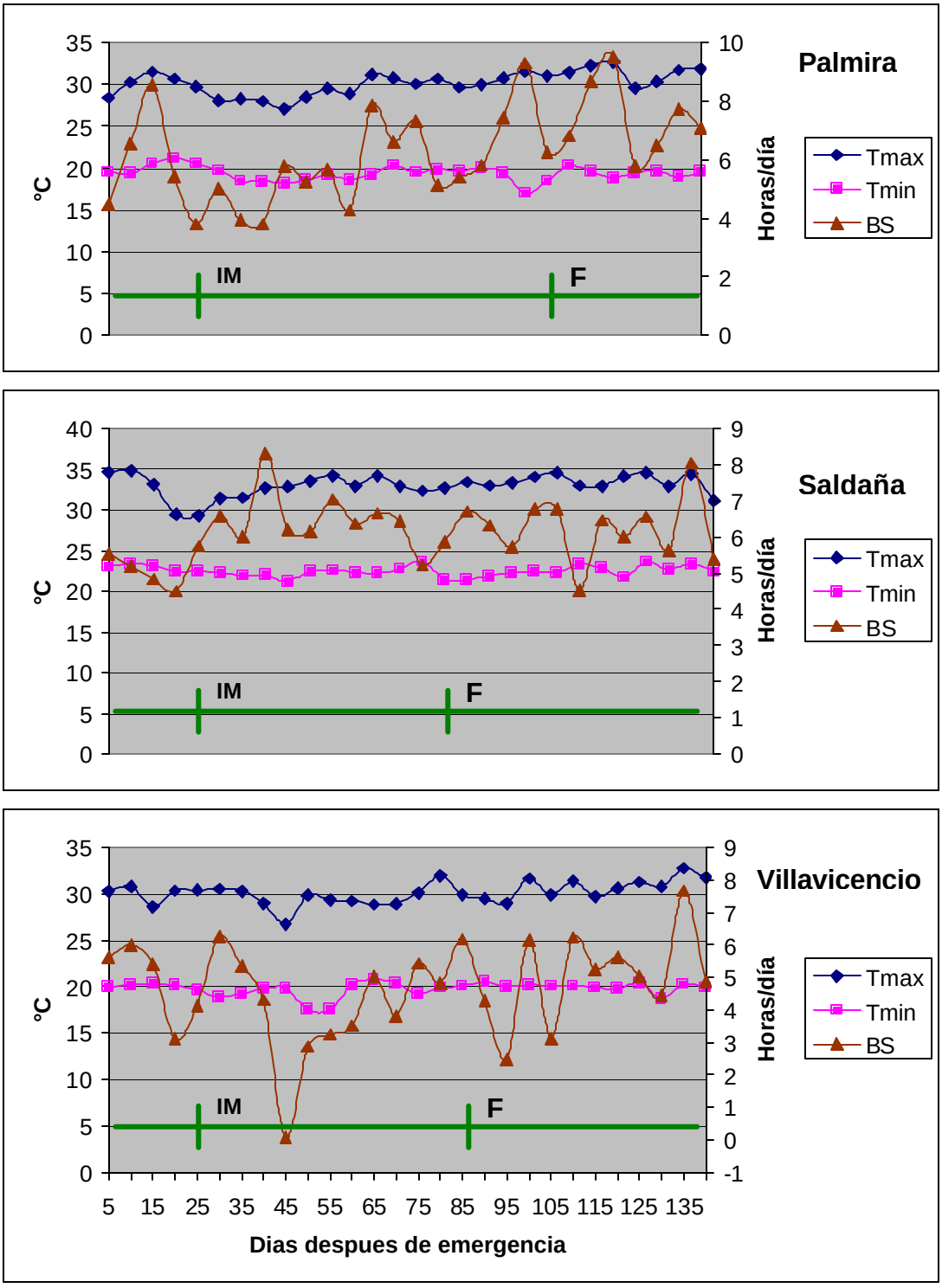
Tabla 2. Algunas características del suelo, sistemas y limitantes del cultivo y épocas de siembra y cosecha en cuatro localidades de selección.

	Palmira CIAT[1]	**Saldaña** EE. las lagunas[2]	**Villavicencio** EE Santa Rosa[3]	**Montería** EE La Victoria[4]
Tipo de suelo	Typic pellustert	Inceptisol	Inceptisol	Typic Acuic Tropaquet
Textura suelo	franco-arcillosa	franco-arenosa	arcillosa	franco-arcillosa
Sistema de cultivo	Riego	riego	secano favorecido	riego
Estrés por:				
Enfermedades	Bajo	medio	alto	medio
Insectos-plagas	Bajo	medio	medio	medio
Malezas	bajo	alto	alto	medio
Suelo	medio	bajo	alto	Bajo
Temperaturas Nocturnas	bajo	bajo	bajo	Alto
Época siembra	abril-septiembre	todo el-año	abril septiembre	mayo-noviembre
Época cosecha	agosto-enero	todo el año	agosto enero	septiembre marzo

1: CIAT: Centro Internacional de Agricultura Tropical.
2: EE Las Lagunas: Estación Experimental Las Lagunas, Federación Nacional de Arroceros de Colombia, FEDEARROZ.
3: EE Santa Rosa: Estación Experimental Santa Rosa, Federación Nacional de Arroceros de Colombia, FEDEARROZ.
4: EE La Victoria: Estación Experimental La Victoria, Federación Nacional de Arroceros de Colombia, FEDEARROZ.

Las condiciones de precipitación, temperaturas máximas, mínimas y promedio y brillo solar en las tres localidades durante el desarrollo de los ensayos de evaluación de los dos esquemas se presentan en la Figura 2.

Figura 2. Temperatura máxima y mínima, brillo solar de siembra a cosecha en Palmira, Saldaña y Villavicencio. 2002-A.



IM: Inicio Macollamiento **F:** Floración

Las tres localidades: Palmira, Saldaña y Villavicencio presentan condiciones climáticas muy diferentes. El clima de Palmira es medio debido a su altura sobre el nivel del mar y corresponde al de un bosque seco tropical con temperaturas intermedias y con baja radiación solar. En cambio el clima de Saldaña es caliente y húmedo con mayor radiación. Mientras, el de Villavicencio es caliente, con mayor humedad pero con menor radiación.

2.3. Material genético

De doscientos cincuenta y ocho cruzamientos triples realizados por el FLAR en el año 2000, se utilizaron doce F_1 provenientes de veinticinco parentales (Tabla 3). Estos cruzamientos representan un ejemplo del tipo de poblaciones generadas por el FLAR con el fin de desarrollar variedades mejoradas adaptadas a los distintos ambientes en donde se produce arroz en la región tropical de América Latina. La escogencia de los parentales que intervinieron en los cruzamientos cumplieron con las siguientes condiciones: origen genético distinto; divergentes en potencial de rendimiento, período vegetativo, vigor y tipo de planta; buena resistencia a enfermedades tales como: piricularia en la hoja y cuello, virus hoja blanca, helmintosporiosis, cercosporiosis, escaldado de la hoja y manchado de grano. En el Anexo 2 se presentan varias características agronómicas de los parentales.

Tabla 3. Relación de los doce cruzamientos triples utilizados en este estudio. Palmira, 2000.

No	CRUZAMIENTO	PROGENITORES
1	**FL03144**	P 3050-F4-52/ORYZICA 1//FEDEARROZ 2000
2	**FL03157**	P 3050-F4-52/IR21015-72-3-3-3-1//CT9748-13-2-1-M-M-1-1
3	**FL03176**	CT10992-3-4-1T-3P-2P-3/CAPI 93//ICTACOLOMGUA
4	**FL03194**	CT8163-9-4-4/ORYZICA CARIBE 8//FL00585-12P-2-2P-M
5	**FL03205**	CT8163-9-4-4/FONAIAP 1//FEDEARROZ 50
6	**FL03223**	CT8250-21-12-2P-1X/CT6543-28-6I-2I//FEDEARROZ 50
7	**FL03232**	CT10825-1-2-1-3-M/FEDEARROZ 50//FL00593-6P-1-3P-M
8	**FL03306**	CT9748-13-2-1-M-M-1-1/CT9159-18-2-3-1//FL00596-54P-3-2P-M
9	**FL03314**	CT9748-13-2-1-M-M-1-1/CT8240-1-3-9P-M//FEDEARROZ 50
10	**FL03340**	CT10308-27-3-1P-4-3-2P/ARAURE 4//FL00596-54P-3-2P-M
11	**FL03379**	CT11408-6-F4-1P-3/FEDEARROZ 50//CNARR4955-7B-BM70A-45-5P
12	**FL03388**	CT11408-6-F4-1P-3/PSB RC 70//CT8163-9-4-4

2.4. Proceso de selección y obtención de las generaciones.

2.4.1. Generación F_1:F_2

La semilla F_1 se obtuvo en el CIAT, Palmira agosto del 2000, al cruzar plantas del cruzamiento simple (AxB) con el parental C de acuerdo al método modificado y desarrollado por Sarkarung (1991). El 10 de noviembre del 2000, se sembró en Palmira esta generación bajo el sistema de trasplante utilizando 100 plantas por cada cruzamiento. La cosecha se realizó el 10 de marzo del 2001. Se cosecharon separadamente 30 plantas individuales en cada cruzamiento y se hizo una mezcla balanceada de semillas F_2 de aproximadamente 300 gramos por cada uno de los doce cruzamientos seleccionados.

El criterio de selección en plantas F_1 fue: altura intermedia (111-130 cm), alta habilidad de macollamiento (más de 25 macollas por planta), panículas largas (mayor de 20 cm) con alto número de granos (mayor de 100) y buena fertilidad, floración intermedia a tardía (90 a 100 días de emergencia a floración), con tallo fuerte y resistente al volcamiento.

2.4. 2. Generación F_2:F_3

La semilla del masal balanceado de la F_2 de cada cruzamiento se repartió en dos cantidades iguales y se sembró en las localidades de Saldaña el 8 de abril del 2001 y en Villavicencio el 24 de abril del 2001. Se utilizó el sistema de siembra directa, en surcos y con tamaño de parcela para cada cruzamiento o población de 20 surcos (separados a 20 centímetros), de 5 metros de largo, y con una densidad de semilla de 0.5 gramos por metro lineal; para un total de 100 gramos de semilla por población o cruzamiento obteniendo 1500 plantas por cruzamiento.

El criterio de selección fenotípica de plantas individuales fue similar al de las F_1 pero agrupando otros caracteres como: bajo vaneamiento (menos de 15 por ciento), grano largo (6.61 a 7.50 mm), senescencia de las hojas tardía y lenta, buena sanidad en las hojas y panículas. El número de plantas seleccionadas fue de 50 plantas (un 3.3 por ciento) por cada cruzamiento tanto en Saldaña como en Villavicencio.

2.4. 3. Generación F_3:F_4

La generación F_3 fue una mezcla física balanceada de semillas de las 50 plantas F_2 individuales cosechadas en cada cruzamiento en Saldaña y Villavicencio

respectivamente. En total fueron 24 poblaciones (12 procedentes de Saldaña y 12 de Villavicencio).

Las 12 poblaciones F_3 originadas en Villavicencio se sembraron en Palmira, el 1 de noviembre del 2001 bajo el sistema de riego y trasplante. Se usaron parcelas de 15 surcos por 10 metros de largo y a 30 centímetros entre plantas (1 planta por sitio), para una población de 1000 plantas por cruzamiento.

Las 12 poblaciones F_3 originadas en Saldaña se sembraron en Montería, el 28 de diciembre del 2001 bajo el sistema riego y con siembra directa, en parcelas de 10 surcos por 5 metros de largo, a 25 centímetros entre surcos y con una densidad de 0.5 gramos por metro. Se obtuvo una población de 1000 plantas por cruzamiento.

Al momento de la cosecha, la selección de plantas F_3 para obtener semilla F_4, en cada localidad fue similar a la F_2 incluyendo la tolerancia al volcamiento. El número de plantas seleccionadas fue de 50 plantas (un 5 por ciento) en cada población F_3, Luego se hizo una mezcla balanceada con la semilla de las 50 plantas seleccionadas en cada cruzamiento y en cada localidad, con el fin de obtener suficiente semilla F_4 (1 kilogramo por cruzamiento en cada localidad), para el ciclo de evaluación de las poblaciones F_4 en Palmira, Saldaña y Villavicencio.

2.5. Evaluación de los esquemas de selección

Para medir el efecto de la selección de plantas F_2 obtenidas en los dos esquemas F_2(secano) Villavicencio y F_2(riego) Saldaña se evaluaron las 12 poblaciones F_4 obtenidas por cada uno de los esquemas en tres ensayos de rendimiento con cuatro repeticiones. La siembra de los ensayos se realizó en: Palmira, Saldaña y Villavicencio entre abril y junio del 2002. También se incluyeron los 25 parentales de los 12 cruzamientos y cinco variedades comerciales testigos: Fedearroz 50, Oryzica 1, Oryzica Caribe 8, Fedearroz Colombia XXI y Fedearroz 2000. El total de tratamientos fue de 54. El ensayo de rendimiento en la localidad de Villavicencio fue protegido con aplicaciones periódicas de fungicidas para medir el efecto de rendimiento y sus componentes. También se sembró una repetición adicional (sin protección) para evaluar las enfermedades foliares y del grano.

2.6. Establecimiento de los ensayos de rendimiento

La siembra del ensayo en Palmira fue por transplante y en Saldaña y Villavicencio en forma directa y en surcos. El tamaño de parcela fue de 8 surcos por 5 metros a 25 centímetros entre surco y con una densidad de 2 gramos por metro lineal para

la siembra directa (10 metros cuadrados) y 1 planta por sitio con 0.30 m entre plantas para la siembra en transplante (12 metros cuadrados). Las fechas de emergencia fueron el 29 de abril del 2002, en Palmira; el 10 de mayo del 2002, en Saldaña y el 1 de junio del 2002, en Villavicencio.

2.7. Labores agronómicas en los ensayos de rendimiento

La preparación del suelo en Saldaña y Villavicencio se hizo bajo el sistema convencional en seco (dos pases de rastra y dos pases de rastrillo pulidor) y mediante el sistema en húmedo (fangueo) en Palmira.

La fertilización se realizó en forma manual y de acuerdo con el análisis químico y las recomendaciones en manejo del cultivo en cada localidad. En el Anexo 3 se muestran las dosis y épocas de aplicación por elemento y localidad.

El control químico de las malezas se realizó con una aplicación en preemergencia de la mezcla oxadiazon (3 l/ha) y butachlor (3 l/ha) en Saldaña y Villavicencio. En Palmira fue en posemergencia, 3 días después del trasplante con propanil (3 l/ha), butachlor (3 l/ha) y 2, 4-D amina (0.2 l/ha). En las tres localidades se realizaron dos aplicaciones adicionales en posemergencia: una para control de ciperáceas y

hoja ancha con bentazon (2 l/ha) y 2, 4-D amina (0.3 l/ha) y otra para gramíneas con cyhalofop n-butyl ester (1.5 l/ha).

Para el ambiente secano favorecido (Villavicencio) todos los cultivares del ensayo se protegieron de la piricularia tanto en hoja como en cuello con la mezcla de fungicidas: tricyclazole (0.3 kg/ha) y axozystrobin (0.6 l/ha) aplicada a los 30 y 40 días después de emergencia y otra al momento de la floración.

2.8. Diseño experimental

El diseño utilizado en los tres ensayos fue el de bloques completos al azar con cuatro repeticiones para un total de 54 genotipos.

2.9. Análisis de varianza

En la Tabla 4 se presenta el esquema del análisis de varianza a través de localidades para las diferentes variables a medir.

Tabla 4. Análisis de varianza a través de tres localidades para las diferentes variables.

FUENTES VARIACION.	GL		GL	GL
Localidad	L-1	3-1	2	
Repetición (Loc.)	r-1 (L)	4-1(3)	9	
Genotipos	G-1	54-1	53	
Genotipo x localidad	(G-1) (L-1)	(54-1) (3-1)	106	
Esquema 1	E-1	12-1	11	
Esquema 2	E-1	12-1	11	
Esq 1 vs Esq 2				1
F_4	F_4-1	24-1	23	
Parentales	P-1	25-1	24	
Testigos	T-1	5-1	4	
F_4 vs. Parentales				1
F_4 vs. Testigos				1
Loc x Esquema 1	(L-1) (E1-1)	(3-1) (12-1)		22
Loc x Esquema 2	(L-1) (E2-1)	(3-1) (12-1)		22
Loc x (Esq 1 vs Esq 2)	(L-1) (1)	(3-1).(1)		2
Loc x F_4	(L-1) (F4-1)	(3-1) (24-1)		46
Loc x Parentales	(L-1) (P-1)	(3-1) (25-1)		48
Loc x Testigos	(L-1) (T-1)	(3-1) (5-1)		8
Loc x (F_4 vs. Parentales)	(L-1) (1)			2
Loc x (F_4 vs. Testigos)	(L-1) (1)			2
Error	(r-1) (G-1) L		477	
TOTAL	(L r G)-1	648-1	647	

El análisis de datos incluye el cálculo de los valores medios por genotipo, esquema, poblaciones F_4, parentales y variedades comerciales; con estos valores se determinó la significancia estadística de las fuentes de variación y el valor de cada uno de los componentes de varianza para rendimiento y sus componentes. Las fuentes de variación en el experimento fueron separadas en efectos principales y sus interacciones. Los cuadrados medios fueron estimados y se realizaron pruebas de "F" para evaluar la probabilidad de cada fuente de variación, considerando un modelo fijo para genotipos y aleatorio para localidades.

El análisis de varianza fue llevado a cabo usando el paquete estadístico SAS, versión 8.02 (SAS, 2002).

El modelo para el fenotipo individual en F_4, parentales y variedades testigos fue: $Y_{ijk} = M + G_i + L_j + GL_{ij} + E_{ijk}$, de donde Y_{ijk} se refiere a la expresión fenotípica del genotipo i, en la localidad j en la k-ésima medición. M es la media de todo el experimento. G_i es el efecto del genotipo i. L_j es el efecto de la localidad j. GL_{ij} se refiere a la interacción del genotipo i con la localidad j. E_{ijk} es el error experimental.

Las comparaciones de promedios de rendimiento y sus componentes principales entre las generaciones F_4 de cada esquema, entre parentales y F_4, entre testigos comerciales y F_4 permitieron probar la hipótesis nula (H_0: no hay diferencias entre las poblaciones consideradas). Además se determinó la varianza de la interacción genotipo por localidad de cada cruzamiento en cuanto al rendimiento de grano y sus componentes para comparar los dos ambientes de selección en F_2.

2.10. Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron:

1. Rendimiento de grano en kilogramos por hectárea (al 14 por ciento de humedad).
2. Número de macollas por metro cuadrado.
3. Número de panículas efectivas por metro cuadrado.
4. Número de granos llenos por metro cuadrado.
5. Número de granos llenos por panícula.
6. Porcentaje de esterilidad
7. Peso de 1000 granos llenos.
8. Altura de planta
9. Días a floración.
10. Vigor de planta

Para evaluar el rendimiento de grano se cosecharon los 6 surcos centrales descartando 25 centímetros en cada surco (6,75 metros cuadrados de parcela efectiva); se corrigió por el porcentaje de humedad al momento de la cosecha para llevarlo al 14 por ciento. El número de panículas totales, efectivas y el peso de grano por metro cuadrado se tomaron en dos muestras de 0.25 m x 0.25 m por

parcela y se multiplicaron por 16 para obtener el valor en m^2. Para determinar el número de granos llenos y vanos por panícula, peso de mil granos y el porcentaje de esterilidad se utilizaron los datos anteriores. La altura de planta se tomó en cinco plantas al azar por parcela, midiendo en centímetros, desde la base de la planta a la punta de la panícula.

También se evaluaron los días de emergencia a floración y vigor de planta según la escala de evaluación estándar del IRRI (1996).

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados y discusión se presentan en dos partes. La primera se refiere al efecto de los dos esquemas de selección y su comparación sobre el rendimiento de grano y otras características agronómicas que no presentaron interacción de esquemas por localidades. En la segunda parte se discuten aquellas características que presentaron interacción de esquema por localidad.

3. 1. Características agronómicas sin interacción esquema por localidad

3.1.1. Rendimiento de grano (t/ha).

El análisis estadístico correspondiente a las distintas fuentes de variación para el rendimiento de grano se presenta en la Tabla 5. Los efectos de localidad, grupo de genotipos y la interacción de grupo de genotipos por localidad fueron altamente significativos para rendimiento de grano. También los efectos debido al esquema 1 (F_2-secano favorecido, F_3-riego) de selección fueron significativos al nivel del 1%; mientras los efectos del esquema 2 (F_2-riego, F_3-riego) solo lo fueron al 5%. Al

comparar los dos esquemas no se presentaron efectos, lo que indica que no hubo diferencias en rendimiento entre los dos esquemas. Tal vez debido a que el proceso de selección en cada esquema no se condujo un número suficiente de generaciones antes de evaluar el rendimiento.

Tabla 5. Análisis de varianza para rendimiento de grano (t/ha) de arroz en doce poblaciones F_4 de dos esquemas de selección por rendimiento en generaciones tempranas, sus 25 parentales y cinco variedades testigos, en tres localidades de Colombia. 2002-A.

Fuente de variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Nivel de significancia
Localidad[1]	2	706.56	353.28	723.85	**
Rep(loc.)	9	77.33	8.59	17.60	**
Grupo genotipos[2]	53	142.03	2.67	5.49	**
Loc. * Grupo genotipos	106	139.12	1.31	2.69	**
E1[3]	11	21.28	1.93	3.97	**
E2[4]	11	11.46	1.04	2.14	*
E1 vs E2	1	0.62	0.62	1.29	
F_4	23	33.38	1.45	2.97	**
Parentales	24	93.47	3.89	7.28	**
Testigos	4	10.58	2.64	5.42	**
F_4 vs Parentales	1	4.58	4.58	9.40	**
F_4 vs Testigos	1	0.007	0.007	0.02	
Loc. * E1	22	9.68	0.44	0.90	
Loc. * E2	22	10.78	0.49	1.00	
Loc. * (E1 vs E2)	2	0.40	0.20	0.41	
Loc. * F_4	46	20.87	0.45	0.93	
Loc. * Parentales	48	89.31	1.86	3.81	**
Loc. * Testigos	8	19.67	2.45	5.04	**
Loc. * (F_4 vs Parentales)	2	1.09	0.54	1.12	
Loc. * (F_4 vs Testigos)	2	8.15	4.07	8.36	**
Error	477	232.80	0.48		
Total	647	1297.86			
CV, %	13				

1: Localidades ó ambientes: Palmira, Saldaña y Villavicencio.
2: Grupo genotipos: F_4, parentales y variedades comerciales testigos
3: Esquema 1: F_2 (secano favorecido) - F_3 (riego).
4: Esquema 2: F_2 (riego) - F_3 (riego).

Los efectos de las poblaciones F_4, parentales y testigos fueron altamente significativos así como también la comparación F_4 vs parentales, pero no así la comparación F_4 vs testigos. La Tabla 5 muestra que fueron altamente significativos los efectos de interacción de localidad con parentales, testigos y la comparación F_4 vs testigos; mientras que no hubo efectos de interacción de localidad con esquema 1, esquema 2, comparación esquema 1 vs esquema 2, F_4 y comparación F_4 vs parentales.

3.1.1.1. Localidades

La variación en el rendimiento de grano fue explicada en un 54 por ciento de la suma de cuadrados total por el efecto de localidades (Tabla 5), lo que indica la gran diferencia que existió entre los rendimientos promedios de las tres localidades evaluadas. Los rendimientos fueron superiores en Palmira (6.13 t/ha) y Saldaña (6.00 t/ha), ambientes que pertenecen al sistema arroz-riego e inferiores en Villavicencio (3.85 t/ha), ambiente que pertenece al sistema arroz-secano favorecido (Tabla 6). Los bajos rendimientos observados en Villavicencio fueron asociados con el menor número de granos por m^2 (Figura 7), menor altura de planta (Figura 9) y menor número de granos por panícula (Figura 11). Una de las principales causas pudo ser la baja fertilidad de sus suelos, así como también la condición de secano favorecido que incrementa la toxicidad del hierro en los suelos ácidos (León, 1985).

Al realizar el análisis estadístico en cada localidad (Tabla 7) se observa que los efectos del esquema 1 de selección fueron significativos en Saldaña y Villavicencio y los del esquema 2 sólo lo fueron significativos en Villavicencio. No existieron diferencias en rendimiento en ninguna localidad al comparar el esquema 1 con el esquema 2. La comparación del esquema 1 vs testigos fue altamente significativa en Palmira y Saldaña y significativa en Villavicencio, mientras la comparación del esquema 2 vs testigos fue significativa en Palmira y altamente significativa en Saldaña. Los coeficientes de variación del rendimiento estuvieron entre el 11 por ciento en Palmira y Saldaña y el 18 por ciento en Villavicencio (Tabla 7). En resumen el efecto de la localidad fue más importante en el comportamiento de las poblaciones F_4 que los esquemas de selección y los valores del coeficiente de variación permiten tener un nivel aceptable de confianza sobre estos resultados obtenidos para la variable rendimiento.

El efecto del grupo de genotipos explicó el 11 por ciento de la variación en el rendimiento y su interacción con las localidades otro 11 por ciento de la misma variación (Tabla 5).

Tabla 6. Rendimiento promedio (t/ha) de dos esquemas de selección por rendimiento en generaciones tempranas, sus parentales y testigos en tres localidades de Colombia. 2002-A.

Grupo genotipos	**Localidad**			**Promedio**
	Palmira	Saldaña	Villavicencio	
E1[1]	6.35	5.97	4.06	5.46
E2[2]	6.23	5.98	3.90	5.37
Parentales	6.04	5.92	3.75	
Testigos	5.80	6.49	3.72	
Promedio/localidad	6.13	6.00	3.85	5.33

1: Esquema 1: F_2 (secano favorecido) - F_3 (riego).
2: Esquema 2: F_2 (riego) - F_3 (riego).

Tabla 7. Niveles de significancia para promedios de rendimiento de grano (t/ha) de arroz en doce poblaciones F_4 de dos esquemas de selección por rendimiento en generaciones tempranas, sus 25 parentales y cinco variedades testigos, en tres localidades de Colombia. 2002-A.

Fuentes de variación	**Grados De Libertad**	**Niveles de Significancia**		
		Palmira	Saldaña	Villavicencio
Rep	3	**		
Grupo genotipos[1]	53	**	**	**
E1[2]	11		*	*
E2[3]	11			*
E1 vs E2	1			
F_4	23		**	**
Parentales	24	**	**	**
Testigos	4	**	**	*
E1 vs Testigos	1	**	**	*
E2 vs Testigos	1	*	**	
Error	159			
Total	215			
CV, %		11	11	18

1: Grupo genotipos: F_4, parentales y variedades comerciales testigos
2: Esquema 1: F_2 (secano favorecido) - F_3 (riego).
3: Esquema 2: F_2 (riego) - F_3 (riego).

3.1.1.2. Esquemas de selección.

Las diferencias en rendimiento de grano entre las poblaciones F_4 del esquema 1 fueron significativas al nivel del 1% y la suma de sus cuadrados sobre el total las F_4 explicaron el 63 por ciento de la variación del rendimiento entre estas poblaciones; mientras que las poblaciones F_4 del esquema 2 fueron diferentes al

nivel del 5% y la suma de sus cuadrados sólo explicaron el 34 por ciento de la variación del rendimiento entre sus poblaciones F_4 (Tabla 5).

Al tener en cuenta el efecto de la interacción de cada esquema con las localidades no se encontraron diferencias entre poblaciones F_4. Sin embargo, el efecto de cada esquema sobre la variación de las poblaciones F_4 se invirtió, bajando al 46 por ciento en el esquema 1 y aumentando al 51 por ciento en el esquema 2 (Tabla 5). Lo anterior también muestra que la localidad tiene un efecto más importante en las poblaciones F_4 que los esquemas.

Al comparar los promedios de rendimiento entre las poblaciones F_4 del esquema 1 y el esquema 2 no existieron diferencias aún a través de las localidades (Tabla 5). Este resultado indica que no hubo diferencias significativas en rendimiento de grano entre los promedios del esquema 1 y del esquema 2. Esto sugiere que no debe esperarse diferencias en rendimiento de grano al seleccionar plantas de la generación F_2 con alto potencial de rendimiento en el sistema secano favorecido y seleccionar plantas F_2 en el sistema riego. Como recomendación sería conveniente validar estos resultados en otros sitios y semestres.

Estos resultados pueden ser la base para establecer diferentes estrategias de mejoramiento por parte de FEDEARROZ en las cuatro zonas arroceras diversas del país en la obtención de variedades de alto rendimiento. En cada una de ellas se pueden seleccionar plantas F_2 (tanto en secano favorecido como en riego)

provenientes de parentales bien caracterizados por resistencia enfermedades conservando su potencial de rendimiento en generaciones posteriores y exponiéndolas luego a altas presiones de enfermedades.

Las diferencias en rendimiento entre las poblaciones F_4 independiente de los esquemas y localidades fueron altamente significativas y no hubo interacción con localidad lo cual sugiere que el comportamiento de ellas no cambia de una localidad a otra. Las diferencias entre los parentales y entre los testigos fueron altamente significativas así como sus interacciones con las localidades; estas diferencias muestran la alta variación del rendimiento tanto en los parentales como en los testigos (Tabla 5). Lo anterior puede estar indicando que las poblaciones F_4 presentan una mejor estabilidad agronómica del rendimiento en su condición de poblaciones heterogéneas al compararlas con los parentales y testigos que son variedades o líneas homogéneas.

La comparación entre F_4 y parentales fue altamente significativa independiente de las localidades y no significativa a través de las mismas (Tabla 5); es decir, la presencia explícita de localidades en el análisis no altera el valor de la comparación que separadamente muestra valores inferiores para el conjunto de parentales. (Figura 3). Por otro lado, al comparar las F_4 (a través de los dos esquemas) con los testigos sucedió todo lo contrario; sólo hubo diferencias altamente significativas a través de las localidades (Tabla 5). Esto significa un comportamiento diferente de la comparación F_4 vs testigos de una localidad a otra.

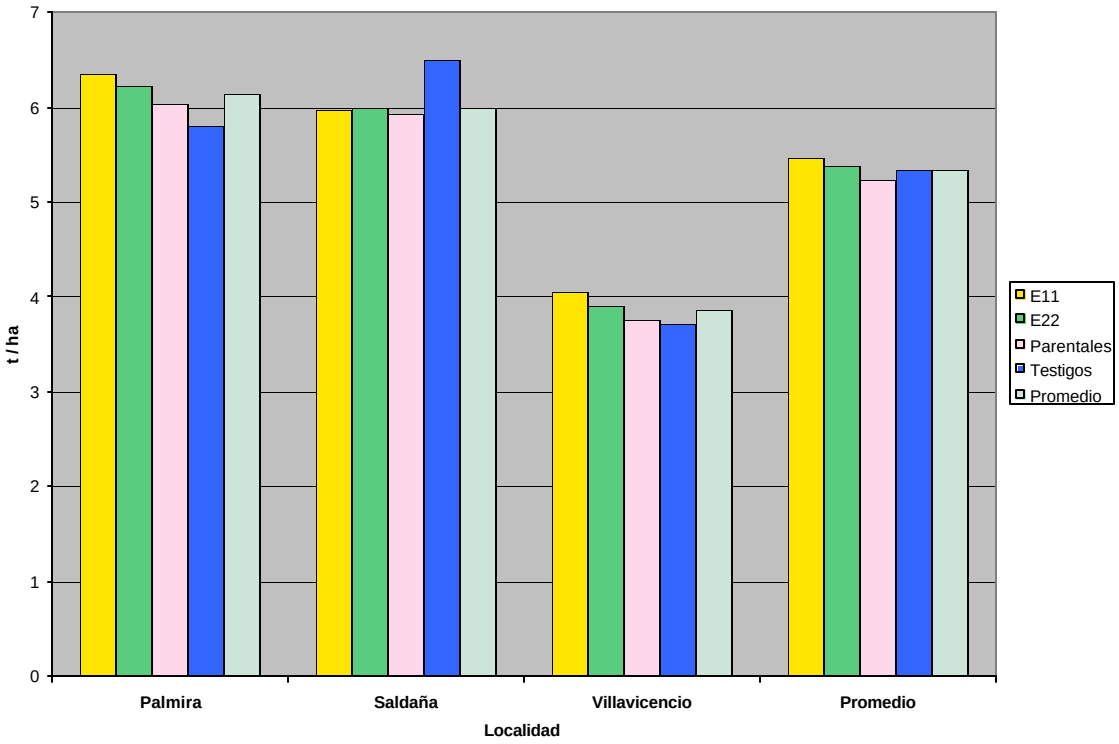
En efecto, la exclusión de localidad diluye el efecto de la comparación porque el ordenamiento relativo del test de “F” con relación a las F_4 es favorable en Palmira, desfavorable en Saldaña e indiferente en Villavicencio. También la variación en rendimiento entre los testigos fue mayor al interactuar con localidad al pasar su suma de cuadrados del 7 por ciento al 14 por ciento con la interacción. Lo anterior puede estar relacionado con el comportamiento de los testigos ya que son variedades comerciales que fueron seleccionadas para los diferentes ambientes donde se siembra arroz en Colombia.

Las diferencias en rendimiento promedio de los esquemas con los testigos se ve afectada por la localidad por lo tanto no se logra ver la tendencia de las mismas; sin embargo, la variación dentro de cada esquema permite encontrar aquellas poblaciones F_4 que en rendimiento promedio individual superaron a los testigos. La Figura 3 permite mostrar con mayor claridad estos resultados donde los rendimientos promedios son muy similares y sólo permiten detectar pequeñas diferencias observadas entre las F_4 y los testigos en las localidades individualmente.

En la Tabla 6 se presentan los promedios de rendimiento de las poblaciones F_4 de cada esquema, los parentales de las poblaciones F_4 y los testigos en las tres localidades evaluadas; se observa que en promedio las diferencias en rendimiento entre los esquemas no fueron significativas; es decir que los esquemas de

selección generan los mismos resultados y que con ellos en promedio sólo se logró obtener diferencias con los testigos (Tabla 5).

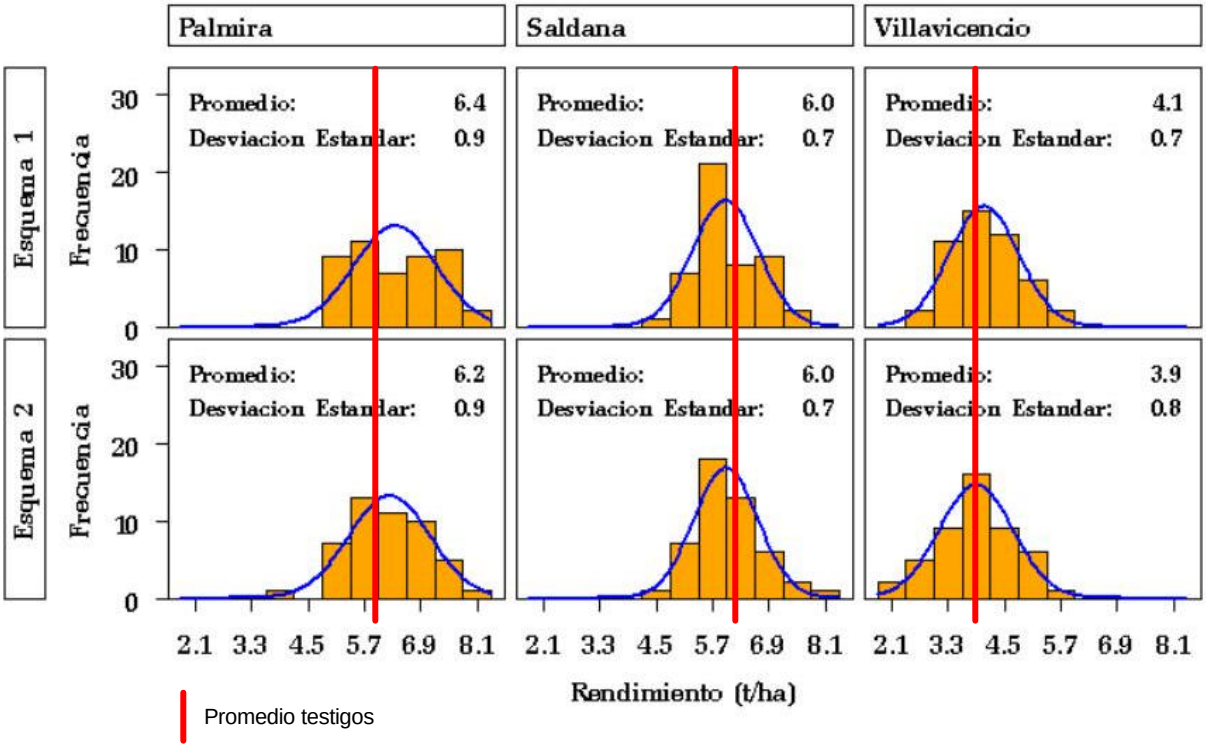
Figura 3. Rendimiento promedio (t/ha) de dos esquemas de selección por rendimiento en generaciones tempranas de sus parentales y testigos en tres localidades de Colombia. 2002-A



La Figura 4 muestra la comparación de frecuencias de observaciones de rendimiento de grano en los dos esquemas comparado con el promedio de los testigos en las tres localidades evaluadas. En esta figura se puede observar que hay mediciones de poblaciones F_4 que superan en rendimiento al promedio de los testigos y esto sucedió en las tres localidades. Los dos esquemas presentaron similar porcentaje de poblaciones que superaron al promedio de los testigos

(alrededor del 55 por ciento) a través de las tres localidades. La localidad con mayor porcentaje fue Palmira con 83 por ciento, seguida de Villavicencio con 70 por ciento y la de más bajo porcentaje fue Saldaña con 12 por ciento. Por ello se puede esperar que en Palmira y Villavicencio estas poblaciones F_4 superiores generen líneas con rendimientos más altos en generaciones posteriores de selección que en Saldaña. También podría estar indicando que Saldaña sea un nicho para seleccionar por adaptación estrecha (específica); mientras, Palmira y Villavicencio lo sean para una adaptación más amplia (general).

Figura 4. Frecuencia de observaciones de rendimiento (t/ha) de las poblaciones F_4 de dos esquemas de selección de plantas con alto rendimiento en generaciones tempranas en tres localidades de Colombia. 2002-A.



3.1.1.3. Esquema 1

En la Tabla 7, el análisis de varianza (ANOVA) del rendimiento en cada localidad muestra que en Palmira no hubo diferencias entre las poblaciones F_4 generadas por el esquema 1, mientras en Saldaña y Villavicencio estas diferencias fueron significativas, pero que al promediar el rendimiento a través de estas localidades no se presentaron diferencias entre ellas (Tabla 5); lo que sugiere que este esquema es independiente del tipo de cruzamiento sobre el cual se realizó la

selección para alto rendimiento y que concuerda con lo encontrado por Robayo (1976) quien no encontró diferencias significativas para rendimiento entre cruzamientos ni entre esquemas cuando comparó tres estrategias de selección con dos cruzamientos en condiciones de riego y secano.

Al comparar el rendimiento promedio del esquema 1 con los testigos hubo diferencias altamente significativas entre los dos promedios en Palmira y Saldaña y significativos en Villavicencio (Tabla 7), lo que indica que existen poblaciones F_4 del esquema 1 con rendimientos diferentes a los testigos y que éstas diferencias se mantienen a través de las localidades.

En la Tabla 8 se observan los rendimientos promedios a través de las localidades de las doce poblaciones F_4 originadas bajo el esquema 1, comprados con los testigos y los parentales.

Tabla 8. Rendimiento promedio (t/ha) de las poblaciones F_4 del esquema 1 de selección de plantas de arroz con alto rendimiento en generaciones tempranas, en tres localidades de Colombia. 2002-A.

Poblaciones F4	Localidad						Promedio	
	Palmira		Saldaña		Villavicencio			
	Población	Parentales	Población	Parentales	Población	Parentales	Población	Parentales
FL03144-M(SR)-M(P)-F4	6.77	5.74	6.45	6.16	4.49	3.95	5.91	5.28
FL03340-M(SR)-M(P)-F4	6.74	5.57	6.71	6.96	4.26	4.09	5.91	5.54
FL03306-M(SR)-M(P)-F4	6.36	6.04	6.73	6.04	4.17	4.33	5.75	5.47
FL03176-M(SR)-M(P)-F4	6.78	6.57	5.98	5.83	4.49	3.82	5.75	5.40
FL03194-M(SR)-M(P)-F4	6.21	5.44	6.07	6.03	4.7	3.77	5.66	5.08
FL03232-M(SR)-M(P)-F4	7.06	6.71	5.44	5.44	4.36	4.01	5.62	5.38
FL03314-M(SR)-M(P)-F4	6.14	6.60	6.29	6.36	4.34	3.75	5.59	5.57
FL03205-M(SR)-M(P)-F4	6.28	6.17	5.85	5.60	3.97	3.57	5.37	5.11
FL03223-M(SR)-M(P)-F4	6.15	5.69	5.84	4.99	4.12	3.60	5.37	4.76
FL03157-M(SR)-M(P)-F4	6.31	5.73	5.24	5.72	3.47	3.85	5.01	5.10
FL03388-M(SR)-M(P)-F4	5.81	6.12	5.62	6.13	3.49	3.32	4.97	5.19
FL03379-M(SR)-M(P)-F4	5.59	5.93	5.44	5.88	2.9	3.28	4.64	5.03
Promedio F4 Esq. 1	6.35		5.97		4.06		5.46	
Promedio testigos	5.8		6.49		3.72		5.34	
Rango testigos	4.36-6.67		5.61-7.36		2.98-4.55		4.08-5.84	

Al comparar estas poblaciones F_4 con el mejor testigo, se encontró que en Palmira sólo cuatro poblaciones: FL03232 (7.06 t/ha), FL03176 (6.78 t/ha), FL03144 (6.77 t/ha) y FL03340 (6.74 t/ha) superaron al mejor testigo Oryzica 1 (6.67 t/ha), y en Villavicencio sólo fue la población FL03194 (4.70 t/ha) la que superó al mejor testigo Fedearroz 2000 (4.55 t/ha); mientras en Saldaña ninguna población superó al mejor testigo Fedearroz 50 (7.36 t/ha). Estas poblaciones F_4 que superaron al mejor testigo pueden generar líneas con rendimientos altos en generaciones posteriores de selección. Tambien, en promedio nueve poblaciones superaron en rendimiento al promedio de los tres parentales de cada población; mostrando las

ganancias de la selección fenotípica en generaciones tempranas de este carácter (Tabla 8).

3.1.1.4. Esquema 2.

El ANOVA del rendimiento de la Tabla 7 muestra que las poblaciones F_4 obtenidas por el esquema 2 no presentaron diferencias en Palmira y Saldaña y sólo hubo diferencias significativas en Villavicencio, resultado diferente al logrado con el esquema 1. Los promedios de rendimiento a través de localidades no presentaron diferencias (Tabla 5), por lo anterior también este esquema es independiente del tipo de germoplasma que constituye cada cruzamiento y que conformó las poblaciones sobre las cuales se realizó la selección.

Cuando se comparó el promedio del rendimiento del esquema 2 con el de los testigos hubo diferencias significativas en Palmira y altamente significativas en Saldaña y sin diferencias en Villavicencio (Tabla 7).

En la Tabla 9 se observan los rendimientos promedios de las doce poblaciones F_4 originadas por el esquema 2 a través de las tres localidades. Al comparar estas poblaciones F_4 con el mejor testigo en cada localidad se obtuvo que en Palmira sólo la población F_4 FL03176 (6.74 t/ha) superó al mejor testigo Oryzica 1 (6.67 t/ha) y que también lo fue con el esquema 1; en Villavicencio sólo dos poblaciones F_4: FL03176 (4.88 t/ha) y FL03306 (4.60 t/ha) superaron al mejor testigo

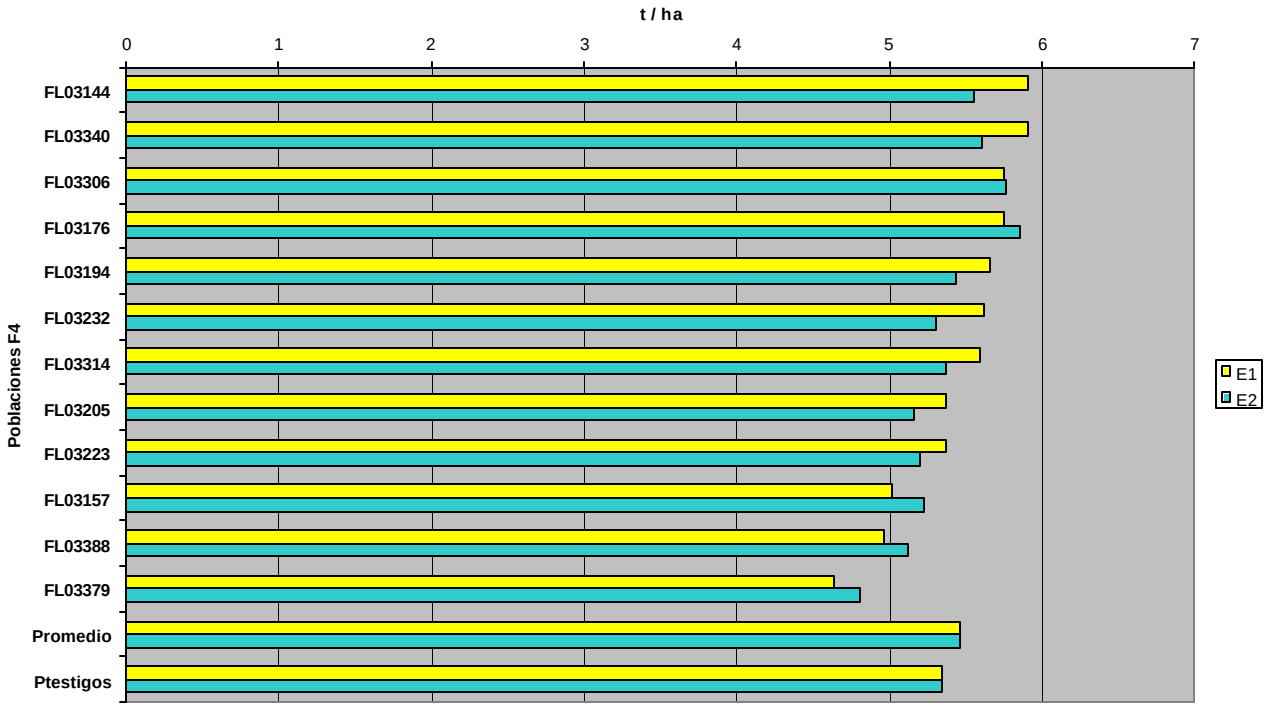
Fedearroz 2000 (4.55 t/ha). Con este esquema tampoco hubo poblaciones F_4 superiores en rendimiento al mejor testigo Fedearroz 50 (7.36 t/ha) en Saldaña. Se espera también que estas poblaciones F_4 superiores generadas por el esquema 2 den origen a líneas con rendimientos altos en generaciones posteriores de selección. Al comparar estas poblaciones con el promedio de rendimiento de los tres parentales de cada población, ocho poblaciones superaron este promedio mostrando también la ganancia de la selección fenotípica con el esquema 2 (Tabla 9).

Tabla 9. Rendimiento promedio (t/ha) de las poblaciones F_4 del esquema 2 de selección de plantas de arroz con alto rendimiento en generaciones tempranas, en tres localidades de Colombia. 2002-A.

Poblaciones F4	Localidad						Promedio	
	Palmira		Saldaña		Villavicencio			
	Población	Parentales	Población	Parentales	Población	Parentales	Población	Parentales
FL03176-M(S)-M(LV)-F4	6.74	6.57	5.94	5.83	4.88	3.82	5.85	5.40
FL03306-M(S)-M(LV)-F4	6.23	6.04	6.46	6.04	4.6	4.33	5.76	5.47
FL03340-M(S)-M(LV)-F4	6.02	5.57	6.83	6.96	3.98	4.09	5.61	5.54
FL03144-M(S)-M(LV)-F4	6.51	5.74	6.28	6.16	3.86	3.95	5.55	5.28
FL03194-M(S)-M(LV)-F4	6.45	5.44	5.91	6.03	3.97	3.77	5.44	5.08
FL03314-M(S)-M(LV)-F4	5.96	6.60	6.24	6.36	3.92	3.75	5.37	5.57
FL03232-M(S)-M(LV)-F4	6.43	6.71	5.46	5.44	4.04	4.01	5.31	5.38
FL03157-M(S)-M(LV)-F4	6.32	5.73	5.55	5.72	3.83	3.85	5.23	5.10
FL03223-M(S)-M(LV)-F4	5.83	5.69	5.97	4.99	3.81	3.60	5.2	4.76
FL03205-M(S)-M(LV)-F4	6.26	6.17	5.64	5.60	3.58	3.57	5.16	5.11
FL03388-M(S)-M(LV)-F4	6.27	6.12	5.88	6.13	3.22	3.32	5.12	5.19
FL03379-M(S)-M(LV)-F4	5.74	5.93	5.62	5.88	3.05	3.28	4.81	5.03
Promedio F4 Esq. 2	6.23		5.98		3.9		5.37	
Promedio testigos	5.8		6.49		3.72		5.34	
Rango testigos	4.36-6.67		5.61-7.36		2.98-4.55		4.08-5.84	

En la Figura 5 se compara el rendimiento promedio de cada población F_4 bajo los dos esquemas de selección donde se observa en general una tendencia a obtener mejores rendimientos con el esquema 1 sin que estos sean diferentes estadísticamente. También se observa que las poblaciones F_4 FL03388 y FL03379 fueron las de menor rendimiento en ambos esquemas de selección.

Figura 5. Rendimiento promedio (t/ha) a través de localidades de las Poblaciones F4 en los dos esquemas de selección de plantas de arroz con alto rendimiento en generaciones tempranas en Colombia. 2002-A



3.1.2. Número de macollas y panículas por m^2.

En la Tabla 10 se observa que el número de macollas y panículas por m^2 presentaron resultados similares con diferencias altamente significativas entre localidades, grupo de genotipos y su interacción con localidad, entre poblaciones del esquema 1 y del esquema 2, entre testigos y entre parentales. No hubo diferencias entre los dos esquemas. La interacción por localidad sólo fue significativa para parentales y altamente significativa en la comparación F_4 vs parentales.

Tabla 10. Cuadrados medios del número de macollas, panículas y granos por m^2 y peso de 1000 granos (g) en arroz de doce poblaciones F_4 con dos esquemas de selección por rendimiento en generaciones tempranas, sus 25 parentales y cinco variedades testigos, en tres localidades de Colombia. 2002-A.

Fuente de variación	Grados de Libertad	Macollas/m^2 ($x10^3$) No	Panículas/ m^2 ($x10^3$) No	Granos/m^2 ($x10^4$) No	Peso de 1000 granos (g)
Localidad[1]	2	8555.7**	7375.5**	3524.6**	459.5**
Rep(loc.)	9	43.9**	43.2**	55.2**	7.9**
Grupo genotipos[2]	53	28.5**	23.9**	13.1**	7.2**
Loc. * Grupo genotipos	106	10.9**	9.2**	8.7	2.9**
E1[3]	11	21.4**	17.8**	6.7	4.7**
E2[4]	11	18.3**	15.5**	5.8	4.2**
E1 vs E2	1	6.5	3.4	0.2	0.02
F_4	23	19.3**	16.1**	6.0	4.3**
Parentales	24	29.6**	25.7**	18.2**	10.1**
Testigos	4	15.9**	10.9	19.4*	9.6**
F_4 vs Parentales	1	290.0**	224.3**	36.7*	0.8
F_4 vs Testigos	1	4.2	10.5	2.2	1.6
Loc. * E1	22	8.9	7.4	5.4	2.6
Loc. * E2	22	8.7	7.4	6.8	1.8
Loc. * (E1 vs E2)	2	3.4	2.0	9.8	1.0
Loc. * F_4	46	8.6	7.2	6.3	2.1
Loc. * Parentales	48	11.4*	9.2*	10.6*	3.9**
Loc. * Testigos	8	5.2	5.4	5.7	1.8
Loc. * (F_4 vs Parentales)	2	63.2**	64.1**	9.6	3.0
Loc. * (F_4 vs Testigos)	2	20.6	13.8	30.8*	1.0
Error	477	118.6	102.2	53.9	9.9
Total	647				
CV, %		16	16	20	5

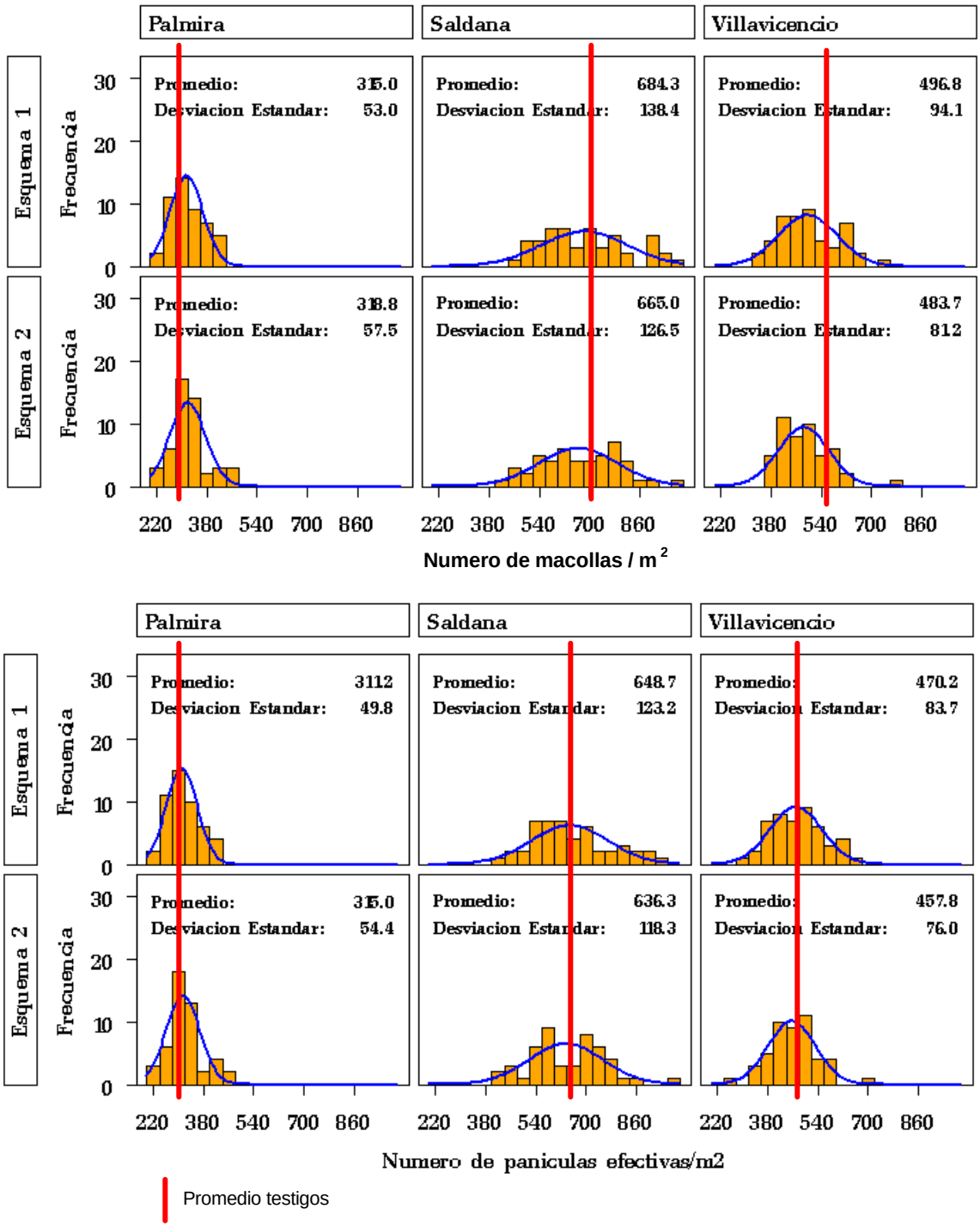
1: Localidades ó ambientes: Palmira, Saldaña y Villavicencio.
2: Grupo genotipos: F_4, parentales y variedades comerciales testigos
3: Esquema 1: F_2 (secano favorecido) - F_3 (riego).
4: Esquema 2: F_2 (riego) - F_3 (riego).

En la Figura 6 se observan las frecuencias de valores para el número de macollas y panículas por m^2 de las poblaciones F_4 en los dos esquemas y en cada localidad comparadas con el promedio de los testigos. Las diferencias entre localidades se pueden atribuir en parte al sistema de siembra en trasplante utilizado en Palmira que presentó menor número de macollas y panículas y el de siembra directa en

surcos en Saldaña y Villavicencio donde éste fue mayor. Según Tascon (1985), la población óptima adecuada para producir una buena cosecha debe estar alrededor de 400 panículas/m^2, con promedio de granos igual o mayor de 60. Lo anterior, puede alcanzarse sembrando desde 16 plantas por m^2, en transplante, hasta con 200 o más kg/ha, en siembra directa, con semilla seca. Con variedades de panículas o granos grandes y en transplante, el número de panículas puede ser menor. Yoshida (1981) propone que el número óptimo de panículas/m^2 para trasplante (Palmira) es de 300 y para siembra directa (Saldaña y Villavicencio) es más alto, alrededor de 600. Según lo anterior, Villavicencio está por debajo, mientras que Palmira y Saldaña están bien en cuanto al óptimo del número de panículas/m^2.

En Saldaña se presentó el mayor promedio del número de macollas y panículas/m^2 y en Palmira el menor, (Figura 6). Lo anterior puede sugerir que Saldaña es un sitio ideal para seleccionar por número de macollas y panículas y que probablemente los efectos del ambiente tales como altas temperaturas y horas de brillo solar (Figura 2) tengan que ver con este mayor promedio.

Figura 6. Frecuencia de observaciones de número de macollas y panículas por m^2 de las poblaciones F_4 de dos esquemas de selección de plantas con alto rendimiento en generaciones tempranas en tres localidades de Colombia. 2002-A.



Como no hay diferencias entre los dos esquemas y no hay interacción con las localidades, se puede decir que estas características no se modifican sí las plantas F_2 con alto rendimiento son seleccionadas en riego o en secano favorecido. También, al seleccionar por alto macollamiento al mismo tiempo se estaba seleccionando por alto número de panículas porque el porcentaje de macollas que formaron panículas con granos fue del 95 por ciento en los dos esquemas.

Hubo diferencias altamente significativas entre poblaciones F_4 del esquema 1 pero no hubo interacción con localidad (Tabla 10). En la Tabla 11 se presenta el promedio del número de macollas y panículas por m^2 del esquema 1. Fueron mayores las poblaciones F_4 FL03232 con 577 macollas y 542 espigas/m^2, y FL03176 con 572 macollas y 554 espigas /m^2 las cuales rindieron 5.62 t/ha y 5.75 t/ha respectivamente aunque no fueron los más altos. También, en la Tabla 12 se presenta el promedio del número de macollas y panículas por m^2 del esquema 2. Bajo este esquema de selección hubo diferencias altamente significativas entre poblaciones F_4 y sin interacción con localidad; siendo mayores FL03194 con 549 macollas y 522 panículas/m^2 y FL03388 con 532 macollas y 517 panículas /m^2; aunque ésta población fue una de menor rendimiento (4.97 t/ha) debido tal vez al menor peso de 1000 granos (25.2 g). Estos resultados confirman la existencia de mecanismos fisiológicos compensatorios entre los componentes de rendimiento (Mackill, *et al* 1996).

Los cultivares que pueden producir alto número de macollas efectivas es un objetivo importante en los programas de mejoramiento para arroz-riego y secano favorecido (Jennings *et al* 1981); y Yoshida (1981) asegura que el alto macollamiento es más importante cuando las condiciones ambientales son pobres.

Tabla 11. Promedios de número de macollas, panículas y granos por m^2 y peso de 1000 granos (g) en las poblaciones F_4 del esquema 1 de selección de plantas de arroz con alto rendimiento en generaciones tempranas, en tres localidades de Colombia. 2002-A.

POBLACIONES F_4	**Macollas/ m^2 No**	**Panículas/ m^2 No**	**Granos/m^2 ($x10^3$) No**	**Peso de 1000 granos (g)**
FL03144-M(SR)-M(P)-F4	475	456	43.8	26.8
FL03340-M(SR)-M(P)-F4	472	454	43.1	26.7
FL03306-M(SR)-M(P)-F4	480	467	38.4	27.3
FL03176-M(SR)-M(P)-F4	572	554	41.3	27.1
FL03194-M(SR)-M(P)-F4	552	512	36.6	26.8
FL03232-M(SR)-M(P)-F4	577	542	44.5	25.4
FL03314-M(SR)-M(P)-F4	481	440	43.9	27.4
FL03205-M(SR)-M(P)-F4	466	449	41.2	26.4
FL03223-M(SR)-M(P)-F4	485	469	37.5	26.5
FL03157-M(SR)-M(P)-F4	478	460	38.3	26.3
FL03388-M(SR)-M(P)-F4	483	472	41.6	26.1
FL03379-M(SR)-M(P)-F4	459	440	41.3	25.6
Promedio F_4 esquema 1	498	476	41.2	26.5
Promedio testigos	507	479	39.9	26.32
Rango testigos	468-560	436-515	34.2-44.7	25.3-27.6

Tabla 12. Promedios de número de macollas, panículas y granos por m^2 y peso de 1000 granos (g) en las poblaciones F_4 del esquema 2 de selección de plantas de arroz con alto rendimiento en generaciones tempranas, en tres localidades de Colombia. 2002-A.

POBLACIONES F_4	**Macollas/ m^2 No**	**Panículas/ m^2 No**	**Granos/m^2 ($x10^3$) No**	**Peso de 1000 granos (g)**
FL03176-M(S)-M(LV)-F4	506	482	44.1	26.5
FL03306-M(S)-M(LV)-F4	473	452	39.9	27.5
FL03340-M(S)-M(LV)-F4	512	493	43.4	26.8
FL03144-M(S)-M(LV)-F4	440	422	38.3	27.1
FL03194-M(S)-M(LV)-F4	549	522	41.6	27.0
FL03314-M(S)-M(LV)-F4	422	414	39.4	26.9
FL03232-M(S)-M(LV)-F4	531	511	45.0	26.2
FL03157-M(S)-M(LV)-F4	490	461	38.0	26.7
FL03223-M(S)-M(LV)-F4	472	455	41.3	26.6
FL03205-M(S)-M(LV)-F4	486	464	40.9	26.0
FL03388-M(S)-M(LV)-F4	532	517	43.0	25.2
FL03379-M(S)-M(LV)-F4	452	440	41.7	26.2
Promedio F_4 esquema 2	489	469	41.4	26.6
Promedio testigos	507	479	39.9	26.3
Rango testigos	468-560	436-515	34.2-44.7	25.3-27.6

3.1.3. Número de granos por m^2 y peso de 1000 granos (g).

En la Tabla 10 los resultados del ANOVA para número de granos/m^2 y peso de 1000 granos, muestran diferencias altamente significativas entre: localidad, grupo de genotipos y parentales; y sólo en el peso de 1000 granos con la interacción localidad por grupo de genotipos. Para el número de granos/m^2, los efectos de: testigos, F_4 vs parentales, las interacciones: localidad por parental, localidad por (F_4 vs testigos) presentaron diferencias significativas; mientras, en el peso de 1000 granos, los efectos del esquema 1, el esquema 2 fueron altamente significativos así como también las F_4, parentales, testigos y la interacción parental por localidad.

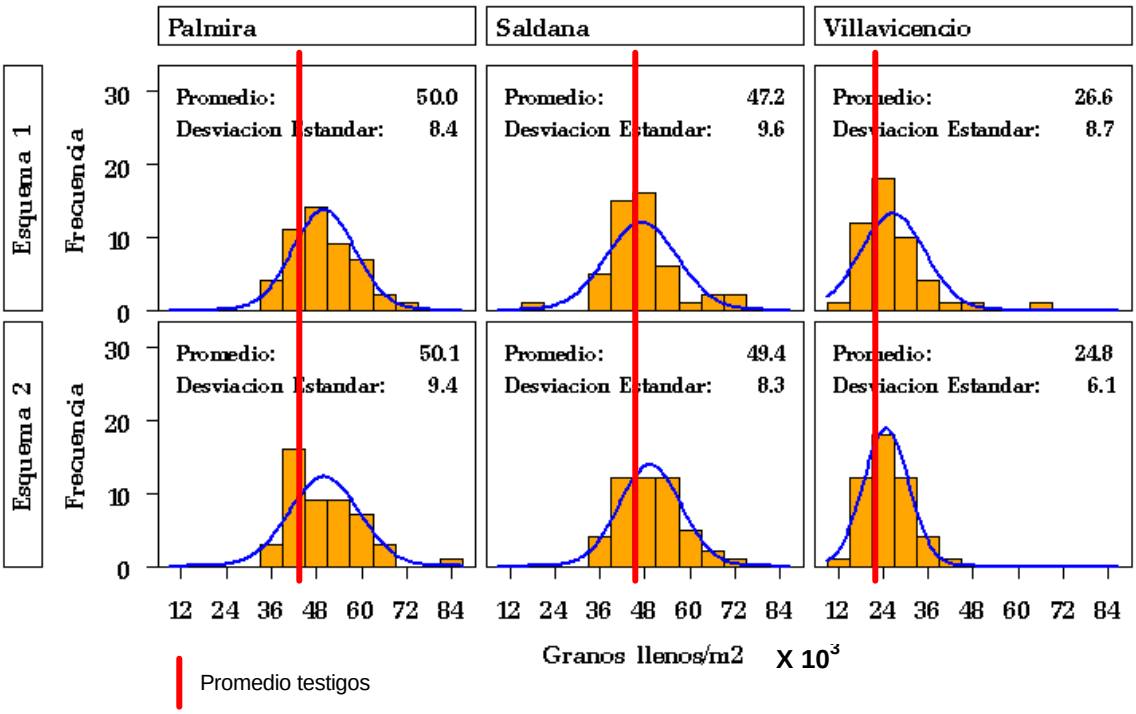
La comparación entre los esquemas de selección no fue significativa con éstas dos características, inclusive con la interacción por localidad. Este resultado también confirma que ninguno de los dos esquemas modificó diferentemente el número de granos/m^2 y el peso de 1000 granos y siguiere que el efecto de la localidad es más importante.

En las Tablas 11 y 12 se presentan los valores promedios de las anteriores características de las poblaciones F_4 del esquema 1 y 2 respectivamente. La diferencia con los testigos no fue significativa, permitiendo concluir que independientemente de los esquemas estos caracteres no se modificaron. Esto es

relevante porque según Kropff *et al* (1994), el número de granos por unidad de área o el tamaño del grano es el primer componente primario del rendimiento en cereales que crecen en ambientes de alto rendimiento sin estrés. También el número de granos por m^2 fue altamente relacionado con la acumulación de materia seca desde el inicio del desarrollo de la panícula hasta la floración (Kropff *et al*, 1994); mientras, el llenado de grano depende en mayor grado de la cantidad de biomasa desde la floración hasta la madurez (Yoshida, 1981). Esto índica que el incremento del potencial de rendimiento en arroz debe comenzar por el aumento de la producción de biomasa y que con cualquiera de los dos esquemas se podría lograr éste objetivo.

La Figura 7 presenta la distribución de frecuencias del número de granos/m^2 de las poblaciones F_4 en los dos esquemas y las tres localidades. Los mayores valores se obtuvieron en Palmira y Saldaña con promedios cercanos a $50x10^3$ granos/m^2 y en Villavicencio fueron la mitad de los anteriores ($25x10^3$ granos/m^2), explicando en gran parte el bajo rendimiento de grano obtenido en esta localidad (Tabla 6).

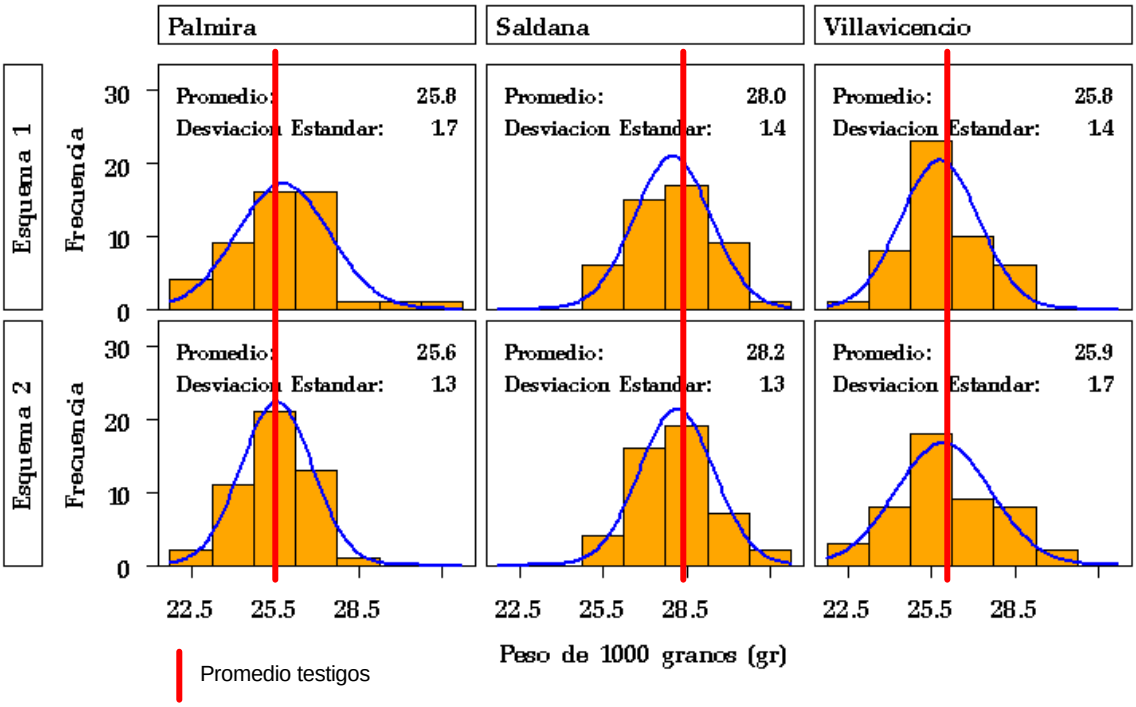
Figura 7. Frecuencia de observaciones del número de granos por m^2 de las poblaciones F_4 de dos esquemas de selección de plantas con alto rendimiento en generaciones tempranas en tres localidades de Colombia. 2002-A.



En la Figura 8 también se muestra la distribución de frecuencias para el peso de 1000 granos; se observa que los valores mayores fueron en Saldaña (28 g) en parte determinado por las mejores condiciones climáticas reinantes en esta localidad (especialmente el brillo solar) que favorecieron un mejor llenado de grano (Figura 2). Según Mackill *et al* (1996) las condiciones del ambiente después de floración (tales como la temperatura) determinan hasta donde se llenan los granos. La distribución de las observaciones sugiere que las poblaciones difieren

bastante en el peso de 1000 granos y que se puede seleccionar individuos con un mejor peso de grano.

Figura 8. Frecuencia de observaciones de peso de 1000 granos (gr) de las poblaciones F_4 de dos esquemas de selección de plantas con alto rendimiento en generaciones tempranas en tres localidades de Colombia. 2002-A.



3.2. Características agronómicas con interacción esquema por localidad.

3.2.1. Altura de planta en (cm).

El ANOVA de la Tabla 13 muestra que la altura de planta presentó diferencias altamente significativas entre: localidades, grupo de genotipos y su interacción, esquema 1, F_4, parentales, testigos, F_4 vs parentales, esquema 1 por localidad, E1 vs E2 por localidad, F_4 por localidad y parentales por localidad.

Tabla 13. Cuadrados medios de altura de planta, días a floración, granos por panícula y porcentaje de vaneamiento en arroz de doce poblaciones F_4 con dos esquemas de selección por rendimiento en generaciones tempranas, sus 25 parentales y cinco variedades testigos, en tres localidades de Colombia. 2002-A.

Fuente de variación	**Grados de Libertad**	**Altura planta Cm**	**Días a floración No**	**Granos /panícula (x10^3) No**	**Porcentaje vaneamiento**
Localidad[1]	2	4165.6**	26353.2**	642.6**	3732.2**
Rep(loc.)	9	456.9**	8.6	1.3**	65.1**
Grupo genotipos[2]	53	264.0**	192.1**	1.2**	61.4**
Loc. * Grupo genotipos	106	43.2**	22.3**	0.5**	22.2**
E1[3]	11	41.5**	20.2**	0.9**	52.3**
E2[4]	11	24.3	24.8**	0.3	28.8*
E1 vs E2	1	0.1	4.2	0.009	0.5
F_4	23	31.5**	21.7**	0.5**	38.8**
Parentales	24	280.8**	344.8**	1.5**	74.9**
Testigos	4	99.1**	129.6**	1.3**	104.5**
F_4 vs Parentales	1	6132.5**	339.4**	12.1**	144.5**
F_4 vs Testigos	1	2.0	547.7**	0.7	1.2
Loc. * E1	22	39.6**	8.0*	0.3	25.4*
Loc. * E2	22	21.2	11.2**	0.5**	11.3
Loc. * (E1 vs E2)	2	120.1**	25.3**	0.4	0.5
Loc. * F_4	46	34.3**	10.3**	0.4**	17.6
Loc. * Parentales	48	54.7**	32.6**	0.5**	29.3**
Loc. * Testigos	8	28.6	13.2**	0.3	10.6
Loc. * (F_4 vs Parentales)	2	42.4	78.5**	1.2**	21.7
Loc. * (F_4 vs Testigos)	2	32.4	33.4**	0.1	4.6
Error	477	16.5	4.8	251.9	14.0
Total	647				
CV, %		4	2	16	32

1: Localidades ó ambientes: Palmira, Saldaña y Villavicencio.

2: Grupo genotipos: F_4, parentales y variedades comerciales testigos

3: Esquema 1: F_2 (secano favorecido) - F_3 (riego).

4: Esquema 2: F_2 (riego) - F_3 (riego).

No hubo diferencias significativas en el esquema 2 y en la comparación de promedios del esquema 1 con el 2 (Tabla 13), lo que indica que la selección de plantas con alto rendimiento en grano en F_2 secano favorecido no se diferencia en

altura de planta con la selección de F_2 hecha en riego, sino que la localidad tiene un mayor peso en la determinación de la altura de planta. Al haber interacción del esquema 1 por localidad en altura de planta es necesario presentar los promedios en cada localidad y en cada esquema.

En la Tabla 14 se presentan los promedios de altura de planta con el esquema 1. La mayor altura fue en Palmira y Saldaña (103 cm) y la menor en Villavicencio (98 cm); no se presentaron diferencias con el promedio de los testigos.

El esquema 2 presentó alturas de plantas promedio mayores en Saldaña (106 cm) que en Palmira (102 cm); sin embargo, las diferencias entre sus poblaciones F_4 no fueron significativas. También Villavicencio produjo plantas mas bajas (97 cm) (Tabla 15).

Tabla 14. Promedios de altura de planta (cm) y días a floración de las poblaciones F_4 del esquema 1 de selección de plantas de arroz con alto rendimiento en generaciones tempranas, en tres localidades de Colombia. 2002-A.

Poblaciones F4	**Localidades**					
	Palmira		Saldaña		Villavicencio	
	Ap*	Fl**	Ap	Fl	Ap	Fl
FL03144-M(SR)-M(P)-F4	106	104	111	83	99	85
FL03340-M(SR)-M(P)-F4	100	105	102	84	97	83
FL03306-M(SR)-M(P)-F4	100	102	104	80	95	80
FL03176-M(SR)-M(P)-F4	103	103	98	83	100	80
FL03194-M(SR)-M(P)-F4	109	102	96	82	102	79
FL03232-M(SR)-M(P)-F4	103	100	99	80	100	80
FL03314-M(SR)-M(P)-F4	104	102	105	82	97	80
FL03205-M(SR)-M(P)-F4	105	101	101	80	96	81
FL03223-M(SR)-M(P)-F4	102	100	102	80	95	82
FL03157-M(SR)-M(P)-F4	104	102	109	80	100	80
FL03388-M(SR)-M(P)-F4	102	101	104	81	99	82
FL03379-M(SR)-M(P)-F4	103	98	105	82	94	85
Promedio F_4 esquema 1	103	101	103	81	98	81
Promedio testigos	99	106	103	84	92	86
Rango testigos	95-105	104-113	98-108	80-89	88-95	82-90

*, Altura planta (cm).; **, Días a floración.

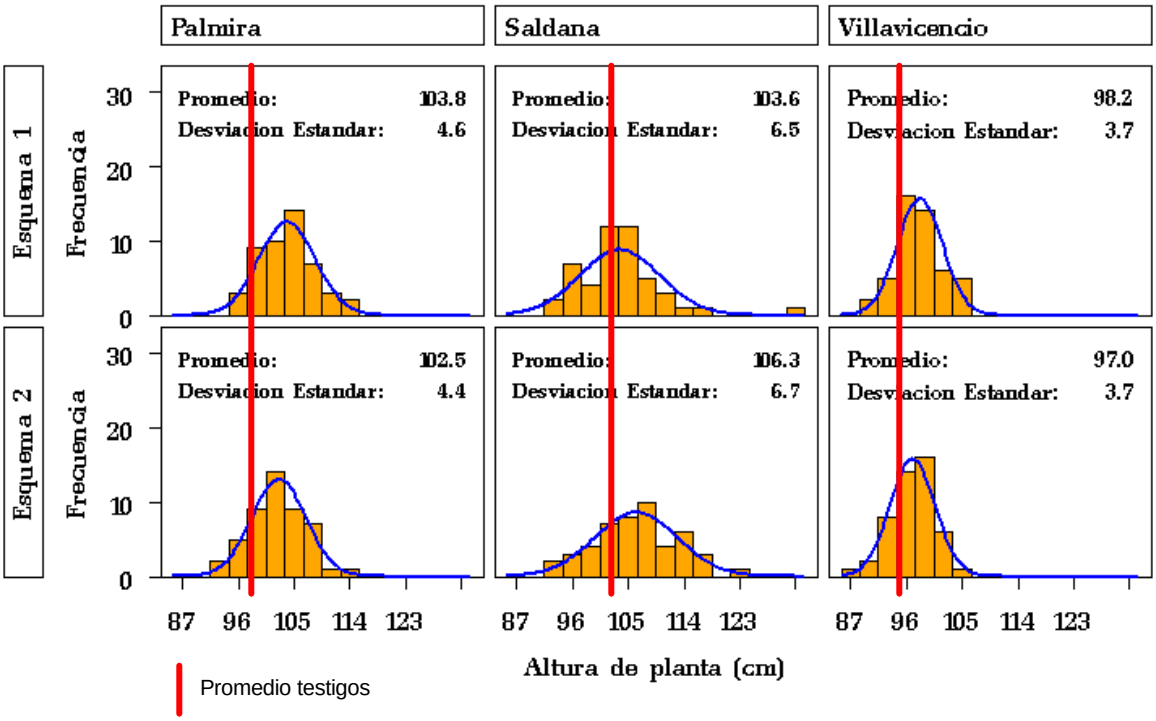
Tabla 15. Promedios de altura de planta (cm) y días a floración de las poblaciones F_4 del esquema 2 de selección de plantas de arroz con alto rendimiento en generaciones tempranas, en tres localidades de Colombia. 2002-A.

Poblaciones F4	**Localidades**					
	Palmira		Saldaña		Villavicencio	
	Ap*	Fl**	Ap	Fl	Ap	Fl
FL03176-M(S)-M(LV)-F4	102	102	104	84	100	81
FL03306-M(S)-M(LV)-F4	100	97	106	82	97	83
FL03340-M(S)-M(LV)-F4	97	103	106	82	98	82
FL03144-M(S)-M(LV)-F4	101	102	104	84	94	83
FL03194-M(S)-M(LV)-F4	107	102	108	83	98	81
FL03314-M(S)-M(LV)-F4	104	99	110	81	98	80
FL03232-M(S)-M(LV)-F4	104	98	100	79	96	80
FL03157-M(S)-M(LV)-F4	102	99	104	81	97	83
FL03223-M(S)-M(LV)-F4	101	98	108	80	96	81
FL03205-M(S)-M(LV)-F4	101	103	105	81	95	85
FL03388-M(S)-M(LV)-F4	103	98	107	81	96	80
FL03379-M(S)-M(LV)-F4	103	100	108	81	93	87
Promedio F_4 esquema 2	102	100	106	81	97	82
Promedio testigos	99	106	103	84	92	86
Rango testigos	95-105	104-113	98-108	80-89	88-95	82-90

*, Altura planta (cm).; **, Días a floración.

La Figura 9 muestra la distribución de frecuencia de valores de las poblaciones F_4 para altura de planta bajo los dos esquemas y en las tres localidades.

Figura 9. Frecuencia de observaciones de altura de planta (cm) de las poblaciones F_4 de dos esquemas de selección de plantas con alto rendimiento en generaciones tempranas en tres localidades de Colombia. 2002-A.



Se observa una mayor variación en Saldaña y similares frecuencias entre localidades. La mayor variación de la altura de planta en Saldaña puede estar relacionada con las altas temperaturas. En este sentido Mackill *et al* (1966) opina que aún cuando la altura de planta está bajo un control genético simple, es afectada por condiciones ambientales y condiciones de estrés de humedad y nutrientes del suelo situación que se presentó en Villavicencio. También la baja disponibilidad de nutrientes como sucedió en Villavicencio pudo ser la causa de la baja altura de planta registrada en esa localidad. Los datos sugieren que en

Saldaña hay una mejor diferenciación de las poblaciones en cuanto a la altura de planta, lo cual facilita la selección por altura.

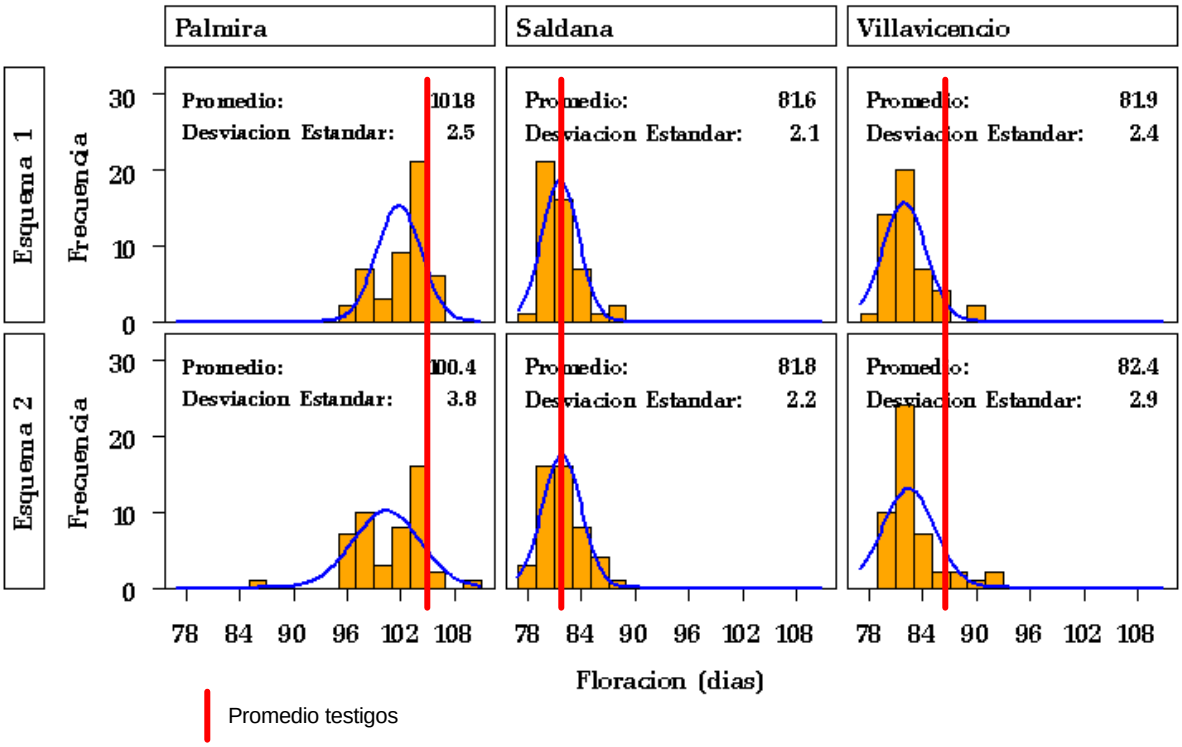
3.2.2. Floración (días después de emergencia).

El registro de la fecha de floración da una medida exacta del período total de maduración, ya que el período de la floración a la maduración del grano es relativamente constante en todas las líneas bajo condiciones del trópico (Jennings *et al*, 1981).

En la Tabla 13 el ANOVA para floración muestra que la mayoría de los efectos fueron altamente significativos en esta característica. Sólo la comparación esquema 1 con el 2 no fue significativa pero al interactuar con localidades sí se encontraron diferencias altamente significativas. Las tablas 14 y 15 muestran los promedios en días a floración de los esquemas 1 y 2 respectivamente, donde se destacan las diferencias significativas de las poblaciones F_4 con los testigos (92 días) siendo en promedio más precoces las poblaciones F_4 (98 días). La diferencia en madurez en las localidades fue altamente afectada por la temperatura del aire (Figura 2) en cada una de ellas; este resultado coincide con lo reportado por Jennigs *et al*, (1981). Esto sugiere que el efecto de la localidad es más importante que los esquemas de selección en cuanto a floración.

En la Figura 10 se muestra la distribución de frecuencia de valores de las poblaciones F_4 para días a floración bajo los dos esquemas y en las tres localidades.

Figura 10. Frecuencia de observaciones de días a floración de las poblaciones F_4 de dos esquemas de selección de plantas con alto rendimiento en generaciones tempranas en tres localidades de Colombia. 2002-A.



En Palmira se presentaron las poblaciones F_4 mas tardías (100 días) y en Saldaña y Villavicencio las más precoces (82 días); también, éstas poblaciones F_4 fueron a través de las localidades más precoces que los testigos. Esto demuestra que las

diferencias en floración están dadas por las condiciones climáticas de los sitios y no por el esquema de selección.

3.2.3. Número de granos por panícula.

En el ANOVA presentado en la Tabla 13 muestra que hubo diferencias altamente significativas del número de granos por panícula entre: localidades, grupo de genotipos y su interacción con localidades, esquema 1, F_4, parentales, testigos, F_4 vs parentales y las interacciones localidad por: esquema 2, F_4, parentales, testigos, F_4 vs parentales y F_4 vs testigos.

El número de granos por panícula en promedio no fue diferente en los dos esquemas de selección; es decir esta característica tampoco se afecta si la selección de las plantas F_2 con altos rendimientos se realiza en secano favorecido o en riego. Las Tablas 16 y 17 muestran los promedios para esta característica en los dos esquemas respectivamente sin que las diferencias sean significativas; sin embargo, la diferencia entre localidades si lo fue, siendo mayor el número de granos por panícula en Palmira (162 y 160 en el esquema 1 y 2 respectivamente), seguido de Saldaña (74 y 79) y Villavicencio (57 y 55). El mayor número de granos por panícula en Palmira recompensa en rendimiento el menor número de macollas y panículas por m^2, dado por su siembra en trasplante.

Tabla 16. Promedios de número de granos por panícula y porcentaje de vaneamiento de las poblaciones F_4 del esquema 1 de selección de plantas de arroz con alto rendimiento en generaciones tempranas, en tres localidades de Colombia. 2002-A.

Poblaciones F4	**Localidades**					
	Palmira		Saldaña		Villavicencio	
	NGP*	PV**	NGP*	PV**	NGP*	PV**
FL03144-M(SR)-M(P)-F4	160	17	81	5	73	14
FL03340-M(SR)-M(P)-F4	169	13	87	6	63	11
FL03306-M(SR)-M(P)-F4	177	13	70	6	49	19
FL03176-M(SR)-M(P)-F4	146	16	61	6	50	12
FL03194-M(SR)-M(P)-F4	147	8	63	5	50	9
FL03232-M(SR)-M(P)-F4	162	13	64	6	62	11
FL03314-M(SR)-M(P)-F4	187	12	79	9	69	12
FL03205-M(SR)-M(P)-F4	177	10	83	9	52	15
FL03223-M(SR)-M(P)-F4	133	19	51	6	53	21
FL03157-M(SR)-M(P)-F4	160	13	70	6	46	15
FL03388-M(SR)-M(P)-F4	158	13	71	7	60	14
FL03379-M(SR)-M(P)-F4	168	21	86	8	54	16
Promedio	162	14	74	7	57	14
Promedio testigos	162	13	73	6	55	14
Rango testigos	137-186	7-18	66-85	4-8	44-63	10-19

*, Número de granos por panícula; **, Porcentaje de vaneamiento.

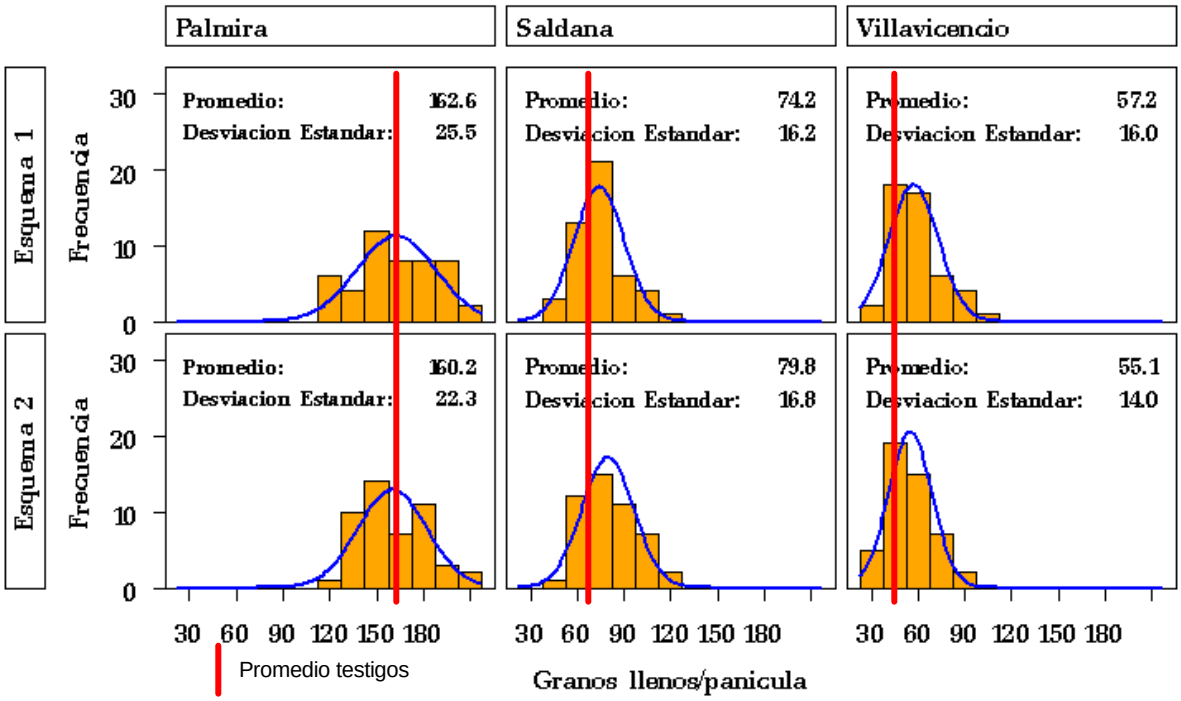
Tabla 17. Promedios de número de granos por panícula y porcentaje de vaneamiento de las poblaciones F_4 del esquema 2 de selección de plantas de arroz con alto rendimiento en generaciones tempranas, en tres localidades de Colombia. 2002-A.

Poblaciones F4	**Localidades**					
	Palmira		Saldaña		Villavicencio	
	NGP*	PV**	NGP*	PV**	NGP*	PV**
FL03176-M(S)-M(LV)-F4	160	15	88	7	62	12
FL03306-M(S)-M(LV)-F4	193	14	68	9	54	13
FL03340-M(S)-M(LV)-F4	150	13	87	9	46	15
FL03144-M(S)-M(LV)-F4	153	13	83	6	61	15
FL03194-M(S)-M(LV)-F4	156	16	67	6	58	13
FL03314-M(S)-M(LV)-F4	160	20	93	7	55	17
FL03232-M(S)-M(LV)-F4	182	12	61	4	63	12
FL03157-M(S)-M(LV)-F4	150	11	66	5	60	14
FL03223-M(S)-M(LV)-F4	151	15	86	9	54	20
FL03205-M(S)-M(LV)-F4	161	13	78	7	50	12
FL03388-M(S)-M(LV)-F4	145	12	75	7	42	14
FL03379-M(S)-M(LV)-F4	156	13	99	5	51	12
Promedio	160	14	79	7	55	14
Promedio testigos	162	13	73	6	55	14
Rango testigos	137-186	7-18	66-85	4-8	44-63	10-19

*, Número de granos por panícula; **, Porcentaje de vaneamiento.

La Figura 11 muestra la distribución de frecuencia de valores de número de granos por panícula de las poblaciones F_4 bajo los dos esquemas y en las tres localidades.

Figura 11. Frecuencia de observaciones de granos llenos por panícula de las poblaciones F_4 de dos esquemas de selección de plantas con alto rendimiento en generaciones tempranas en tres localidades de Colombia. 2002-A.



También se observa en Palmira el mayor número de granos por panícula (dos veces el de Saldaña y tres veces el de Villavicencio); Por lo anterior, se sugiere que Palmira permite diferenciar los genotipos por esta característica. Algunos fitomejoradores prefieren desarrollar cultivares con una moderada habilidad de macollamiento, que posean panículas largas con muchos granos por panícula (panículas del tipo pesado) que cultivares con muchas macollas y numerosas panículas pequeñas. Sin embargo, un rango del tipo de planta es preferible porque se obtiene mayor información de las características de las plantas óptimas

y se pueden seleccionar diferentes tipos para diversas situaciones (Mackill *et al* 1996). También, el tamaño del vertedero se incrementa por selección de panículas largas solamente sí el número de panículas/m^2 se pueda mantener (Slafer *et al*, 1996).

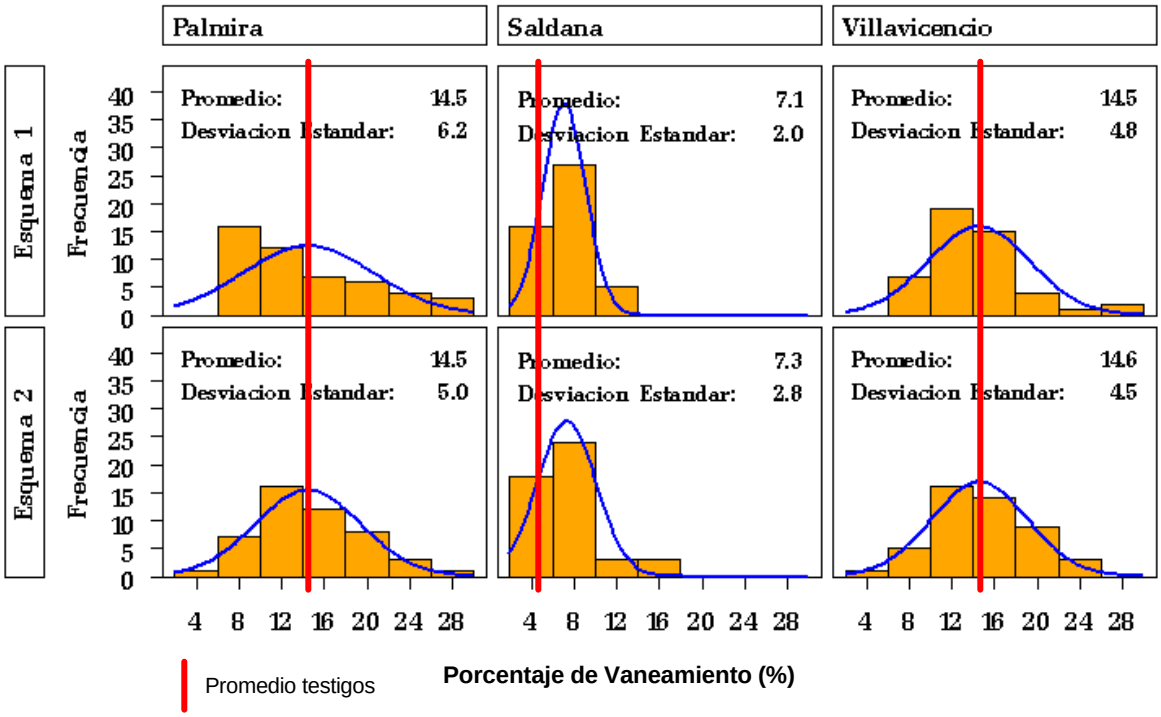
3.2.4. Porcentaje de vaneamiento.

El porcentaje de vaneamiento presentó diferencias altamente significativas entre: localidades, grupo de genotipos y su interacción con localidad, F_4 del esquema 1, F_4, parentales, testigos, F_4 vs parentales y la interacción localidad por parental. También se encontraron diferencias significativas entre F_4 del esquema 2 y localidad por esquema 1. La comparación del promedio de vaneamiento de las poblaciones F_4 del esquema 1 con las del esquema 2 y su interacción con localidad no presentaron diferencias; lo que permite concluir que estos dos esquemas no difieren en cuanto al porcentaje de granos vanos en las panículas (Tabla 13).

Las Tablas 16 y 17 muestran los promedios para esta característica en los dos esquemas respectivamente sin que las diferencias sean significativas; sin embargo, el promedio de las localidades fue diferente. El vaneamiento fue mayor en Palmira y Villavicencio (14%) y menor en Saldaña (7%). Entre las poblaciones F_4 las de mayor vaneamiento fueron FL03223 con 21 % y FL 03379 con 21% y

esta última produjo el menor rendimiento en Palmira (4.64 t/ha). La Figura 12 muestra la distribución de frecuencia de valores del porcentaje de vaneamiento de las poblaciones F_4 bajo los dos esquemas y en las tres localidades.

Figura 12. Frecuencia de observaciones de porcentaje de vaneamiento de las poblaciones F_4 de dos esquemas de selección de plantas con alto rendimiento en generaciones tempranas en tres localidades de Colombia. 2002-A.



También, muestra que el vaneamiento fue mayor en Palmira; por lo anterior, esta localidad puede ser apta para seleccionar por bajo porcentaje de granos vanos en la panícula. Según Yoshida (1981) el porcentaje de granos llenos está determinado por el número de espículas que son fertilizadas y la habilidad de la

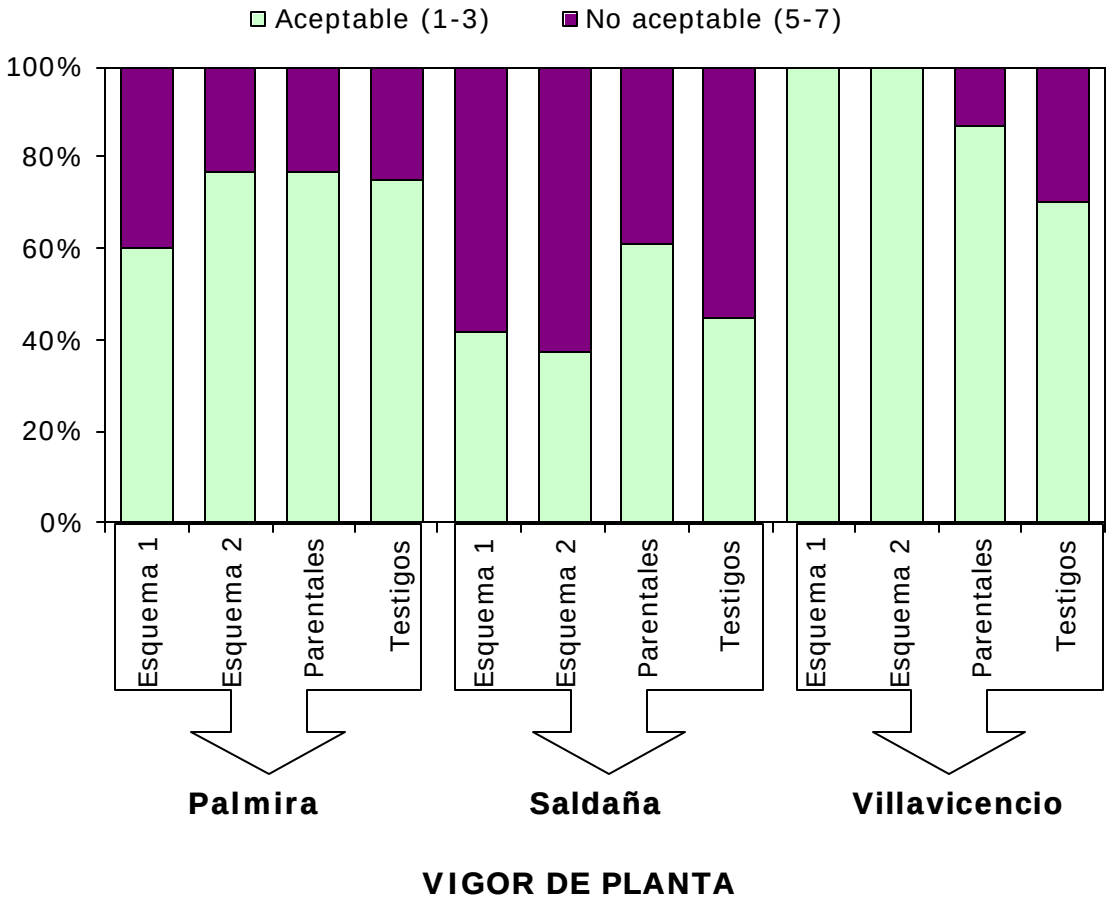
planta a llenar las mismas. Los estreses del ambiente tales como sequía, salinidad, altas y bajas temperaturas y baja radiación incrementa el número de granos vanos. Algunos de estos estreses se presentaron en Palmira, tales como las temperaturas mínimas, alrededor de 17 ºC en floración y la baja radiación; Villavicencio también presentó baja radiación en la misma época (Figura 2).

3.2.5. Vigor de planta.

El vigor de planta o vigor vegetativo inicial (habilidad para llenar rápidamente los espacios entre plantas y surcos) es deseable si tal vigor no conduce a un crecimiento excesivo; disminuye la competencia de malezas, compensa las pérdidas de plantas y contribuye a que el cultivo obtenga su área foliar crítica a la floración (Jennigs *et al* 1981). Esta característica se evaluó alrededor de los 40 a 50 días después de emergencia con la escala del IRRI (1996) donde el valor de 1 son plantas extra vigorosas, 3 plantas vigorosas, 5 plantas normales, 7 plantas débiles y 9 plantas muy débiles. Para analizar esta variable se agruparon el porcentaje de calificaciones en dos categorías: aceptable, conformada por las calificaciones 1 y 3 y no aceptable, conformada por 5 y 7. (No se presentaron valores de 9).

La Figura 13 muestra el porcentaje de valores de vigor aceptables (1-3) y no aceptables de las poblaciones F_4, parentales y testigos bajo los dos esquemas de selección y en las tres localidades.

Figura 13. Porcentaje de vigor de planta aceptable (1-3)* y no aceptable (5-7)* de las poblaciones F_4 de dos esquemas de selección de plantas con alto rendimiento en generaciones tempranas en tres localidades de Colombia. 2002-A.



*, Escala de evaluación estándar del IRRI (1996), donde 1: planta extra vigorosa y 7: planta débil.

Se observa que las calificaciones fueron diferentes entre localidades; también que la diferencia entre grupos de genotipos (poblaciones F4 del esquema 1 y 2, parentales y testigos) no es grande, especialmente en Saldaña. Por otra parte, Saldaña presenta los menores valores aceptables en los grupos de genotipos seguido de Palmira y de Villavicencio donde los dos esquemas mostraron un 100 por ciento de valores aceptables para las F_4 de los mismos. Lo cual sugiere que Villavicencio no es adecuado para diferenciar entre plantas con buen o mal vigor, mientras que Saldaña es el mejor sitio para ello.

CONCLUSIONES

Los resultados encontrados al comparar los dos esquemas de selección de plantas por alto rendimiento en generaciones tempranas en arroz-riego muestran que no hubo diferencias en el rendimiento de grano entre el esquema 1 (F_2 secano favorecido - F_3 riego) y el esquema 2 (F_2 riego - F_3 riego). Por lo anterior, cualquier esquema puede ser utilizado por el programa de fitomejoramiento de FEDEARROZ que realiza sus investigaciones en la obtención de variedades con altos rendimientos en cuatro regiones arroceras: Caribe seco y húmedo, Centro (Tolima y Huila) y Llanos orientales.

El efecto de la localidad fue más importante en el comportamiento de las poblaciones F_4 que los esquemas de selección.

Las características agronómicas: número de macollas, panículas y granos por m^2, peso de 1000 granos no se diferenciaron entre los esquemas de selección y las mismas no variaron a través de las localidades.

En otras cinco características agronómicas: altura de planta, días a floración, número de granos por panícula, porcentaje de vaneamiento y vigor de planta no

hubo diferencias entre los esquemas, pero si presentaron interacción esquema por localidad.

De las cuatro poblaciones F_4 obtenidas por los dos esquemas con rendimientos superiores se pueden extraer líneas con alto rendimientos de grano para seguir su proceso de selección por otras características agronómicas.

Estos resultados fueron obtenidos mediante la metodología utilizada en la evaluación de los dos esquemas durante el primer semestre del 2002 en las tres localidades (Palmira, Saldaña y Villavicencio). Para su aplicación en otros ambientes y considerando las condiciones tropicales cambiantes de los climas acentuados por el fenómeno del “niño”, se recomienda revalidar en el tiempo la información obtenida.

BIBLIOGRAFIA

ALANIS, L. B. Environmental and genotype-environmental components of variability. En: Heredity. Vol. 21 (1966); p. 387-397.

ALLEN, F. L.; COMSTOCK, R. E. and RASMUSSON, D. C. Optimal environments of yield testing. En: Crop Science. Vol. 18, No. 5 (1978); p.747-751.

BECKER, H. C. Correlations among some statistical measures of phenotypic stability. En: Euphytica. Vol. 30 (1981); p. 835-840.

BLUM, A. Plant breeding for stress environments. Boca Raton, Florida: CRC Press. 1988. p. 55-60.

BRENNAM, P. S. and BYTH, D. E. Genotype x environmental interactions for wheat yields and selections for widely adapted wheat genotypes. En: Australian Journal Agricultural Research. Vol. 30, No 2 (1979); p. 221-232.

CALHOUN, D. S.; GEBEYEHU, G.; MIRANDA, A.; RAJARAM, S., and GINKEL, M. Choosing evaluation environments to increase wheat grain yield under drought conditions. En: Crop Science. Vol. 34 (1994); p 673-678.

CECCARELLI, S.; GRANDO, S and IMPLIGIA, A. Choice of selection strategy in breeding barley for stress environments. En: Euphytica. Vol. 103 (1998); p. 307-318.

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL (CIAT). Sistema de Evaluación Estándar para Arroz. Cali, Colombia, 2 ed. 1983. Manuel Rosero (traductor y adaptador). 61 p.

COHEN, M.; JACKSON, M.; LU, B.; MORIN, S.; MORTIMER, A., PHAM, J., and WADE, L. Predicting the environmental impact of transgene out crossing to wild and weedy rice's in Asia. En: BCPS SYMPOSIUM PROCEEDINGS (72º : 1999 : Philippines). GENE FLOW AND AGRICULTURE RELEVANCE FOR TRANSGENIC CROPS. Philippines, 1999. p. 151-157.

COMSTOCK, R. E. and MOLL, R. H. Genotype-environment interactions. En : HANSON W.D and H.F. ROBINSON. Statistical genetics and plant breeding. Washington: National Academy of Sciences - National Research Council. Publ. 982, 1963. p 164-196.

CUEVAS-PÉREZ, F. E.; GUIMERAES, E.P.; BERRIO. L.E.; GONZALES, D.I.; CORREA, F., and TULANDE, E. Genetic Base of Irrigated Rice in Latin America and The Caribbean, 1971 to 1989. En: Crop Science. Vol. 32 (1992); p. 1054-1059.

_____. Genetic Improvement in Yield of semi dwarf rice cultivars in Colombia. En: Crop. Science. Vol. 35 (1995); 725-729.

CHAU, N. M.; and BHARGAVA, S. C. Physiological basis of higher productivity in rice. En: Indian Journal Plant Physiology. Vol. 36, No. 4 (1993); p. 215-219.

DE PAUW, R. D. and SHEBESKI, L. H. An evaluation of an early generation yield testing procedure in *Triticum aestivum* L. En: Canadian Journal Plant Science. Vol. 53 (1973); p. 465-470.

ESKRIDGE, K. M. Selection of Stable Cultivars Using a Safety-First Rule. Crop Science. Vol. 30 (1990); p. 69-374.

FASOULAS, A. C. and FASOULAS, V. A. Honeycomb Selection Designs. Plant Breeding Review. Vol.13 (1995); p. 87-139.

FEDERACION NACIONAL DE ARROCEROS (FEDEARROZ). Arroz en Colombia 1980 - 2001. Bogotá, 2001. 183 p

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). 2001. FAOSTAT. http://apps1.fao.org (2002).

FREEMAN, G. H. Statistical methods for the analysis of genotype-environment interactions. En: Heredity. Vol. 31, No. 3 (1973); p.339-354.

GRATEROL, E. J. Evaluación de estrategias de selección para resistencia a *Piricularia grisea* (Cooke) Sacc. en arroz (*Oryza sativa* L.). Maracay, Venezuela, 1997, 87 p. Tesis de grado (Master Science). Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía.

HILL, J.; BECKER, H. C. and TIGERSTEDT, P. M. Quantitative and ecological aspect of plant breeding. London, Chapman & Hall, 1998. 450 p.

HINSON, K. and HANSON, W. D. Competition studies in soybeans. En: Crop Science. Vol. 2, No 2 (1962); p. 117-123.

INTERNATONAL RICE RESEARCH INSTITUTE (IRRI). Annual report for 1967. Manila, Philippines. 1968. 180 p.

_____ Annual report for 1973. Manila, Philippines, 1974. p 144-165.

_____ Standar Evaluation System for Rice. Genetic Resources Center (INGER). 4 ed. Philippines, 1996. 53 p.

JENNINGS, P. R. Plant Type as a Rice Breeding Objective. En: Crop Science. Vol. 4 (1964); p. 13-15.

_____; COFFMAN, W. R. and KAUFFMAN, H. E. Mejoramiento de arroz. Centro Internacional de Agricultura Tropical, (CIAT). Cali, Colombia. 1981. 237 p.

JINKS, J. L. and CONNOLLY, V. Selection for specific and general response to environmental differences. En: Heredity. Vol. 30, No 1 (1973); p.33-40.

JOHNSON, G. R. and FREY, K. J. Heritabilities of quantitative attributes of oats (*Avena* sp.) at varying levels of environmental stress. En:Crop Science. Vol. 7, No. 1 (1967); p 43-46.

KROPFF, M. J.; CASSMAN, K.G.; PENG, S.; MATTHEWS, R.B., and SETTER, T.L. Quantitative Understanding of Yield Potential. En: KASSMAN, K. G. (ed.). Breaking the Yield Barrier. International Rice Research Institute. Manila, Philippines. 1994. p. 21-38.

LAMPE, K. Rice research food for 4 billion people. En: GeoJournal. Vol. 35 (1995); p. 253-259.

LEON, L. A. Acidez, encalamiento y fertilización con calcio, magnesio y potasio para el cultivo del arroz. En: TASCON, E. y GARCIA, E. (Eds). Arroz: Investigación y producción. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. Cali. Colombia. 1985. p. 367-384.

LIN, C. S.; BINNS, M. R. and LEFKOVITCH, I. Stability Analysis Where do we stand?. En: Crop Science. Vol. 26 (1986); p. 894-899.

LIN, F. H. and WU, Y. L. Analysis of the adaptability of strains of hybrid progenies of indica rice under diverse cultural environments. En: Journal Agricultural Assignment of China. Vol. 86, No 1 (1974); p.9-18.

LUNGU, D. M. ; KALTSIKES, P.J. and LARTER, E. N. Honeycomb selection for yield in early generation of spring wheat. En: Euphytica. Vol. 39 (1987); p. 831-839.

Mac KILL, D. J. FFMAN, W. R. and GARRITY, D. P. Rain fed Lowland Research. International Rice Research Institute. Manila Philippines. 1996. 242 p.

MARIOTTI, J. A. Fundamentos de genética biométrica. Aplicaciones al mejoramiento genético vegetal. Monografía. CHASNEAU, E. V. (ed.). Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington D. C. (1986); p 5-107.

MARTINEZ, C. P.; FISHER, A.; GONZALEZ, D.I.; RAMIREZ, H. y MOJICA, D. Limitaciones del nuevo tipo de planta de arroz del IRRI. En: Arroz. Vol. 44, No. 399, (Nov. 1995); p. 15-21.

McKENZIE, R. I. H. and LAMBERT, J. W. A comparison of F_3 lines and their related F_6 lines in two barley crosses. En: Crop Science. Vol. 1 (1961); p. 246-249.

MITCHELL, J. W. ; BACKER, R. J. and KNOTT, D. R. Evaluation of honeycomb selection for single plant yield in durum wheat. En: Crop Science. Vol 22 (1982); p. 840-883.

NAKANO, P. H. Eficiencia da selecao simultánea de arroz (*Oryza sativa* L.) en várzea, com e sem irrigacao controlada. Sao Paulo, Brasil, 1990. 125 p. Tesis de grado (Ph D). Escola Superior De Agricultura "Luiz de Queiroz" de Universidad de Sao Paulo.

NIENHUIS, J. and SINGH, S. P. Genetics of seed yield and its components in common bean (*Phaseolus vulgaris L.)* of Middle American origin. II. Genetic variance, heritability and expected response from selection. En: Plant Breeding. Vol. 101 (1988b); p. 155-163.

NTANOS, D. A. and ROUPAKIAS, D. G. Comparative efficiency of two breeding methods for yield and quality in rice. En: Crop Science. Vol. 41 (2001); p. 345-350.

PATIÑO, H. and SINGH, S. P. Visual selection for seed yield in the F_2 and F_3 generations of nine common bean crosses. En: Annual Report Bean Improvement Cooperation. Vol. 32 (1989); p. 79-80.

PERKINS, J. M. and JINKS, J. L. Specificity of the interaction of genotypes with contrasting environments. En: Heredity. Vol. 26, No 3 (1971); p. 463-473.

ROBAYO, R. Evaluación comparativa de dos métodos de selección en arroz de secano. En: VII Reunión anual del programa nacional de Arroz del Instituto Colombiano Agropecuario, ICA. Santa Marta, septiembre, 1975. p. 106-118.

ROUPAKIAS, D., ZESOPOULOU, A.; KAZOLEA, S.; DALKALITSES, G.; MAUROMATIS, A., and LAZARIDU, T. Effectiveness of early generation selection under two plant densities in faba bean (*Vicia faba* L.). En: Euphytica. Vol. 93 (1997); p. 63-70.

SANINT, L. R. Biotecnología e investigación de arroz: Alternativas para América Latina. Fondo Latinoamericano de Arroz Riego (FLAR). FLAR-CIAT. Cali, Colombia, 2000. p. 13.

SARKARUNG, S. A simplified crossing method for rice breeding: a manual. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia. 1991. p. 36.

SCOBIE, G. M.; and POSADA, R. Impact to high yielding rice varieties in Latin America and Caribbean. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 1977. p. 56.

SIMMONDS, N. W. Principles of crop improvement. Long man. London. 1979. 250 p.

SIMMONDS, N. W. Decentralized selection. Sugar Cane. Vol. 6 (1984); p. 8-10.

SIMMONDS, N. W. Selection for local adaptation in a plant breeding programmer. Theoretical Application of Genetic. Vol. 82 (1991); p. 363-367.

SLAFER, G. A. ; CALDERINI, D. F. and MIRALLES, D. J. Generation of yield components and compensation in wheat: Opportunities for further increasing yield potential. En: REYNOLDS, S. *et al*. (Eds). Increasing Yield Potential In Wheat: Breaking the Barriers. International Maize and Wheat Improvement Center. México. 1996. p. 110-113.

SNEEP, J. Selecting for yield in early generation of self-fertilizing crops. En: Euphytica. Vol 26 (1977); p. 27-30.

SOAREZ, P. C., SENDIYAMA, C.S.; CRUZ, C.D. y SILVA, J. Evaluacao de genotipos de arroz em várzeas, com e sem irrigacao controlada. En: Pesquisa Agropecuaria Brasileira. Brasilia. Vol. 30 No 4 (1995); p. 489-496.

TASCON, E. J. Métodos de siembra en arroz. En: TASCON, E. y GARCIA, E. (Eds). Arroz: Investigación y producción. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. Cali. Colombia. 1985. p. 183-202.

YONEZAWA, K. Yield components. En: Science of the Rice Plant. Vol III. Genetics.. MATSUO, T., *et al*. (Eds). Food and Agricultural Policy Research Center. Tokyo, Japan. 1997. 650 p.

YOSHIDA, S. Fundamentals of rice crop science. International Rice Research Institute. Manila, Philippines. 1981. 120 p.

ANEXOS

Anexo 1. Área, producción y rendimiento arroz en Colombia en riego y secano favorecido (1961-2000).

Año	Hectáreas	toneladas	Paddy seco (t/ha)
1961	105000	273450	2.6
1962	125350	353690	2.8
1963	115400	344000	2.9
1964	124200	385000	3.1
1965	130000	396400	3.0
1966	114000	341400	2.9
1967	109850	381000	3.4
1968	126925	535700	4.2
1969	115890	474211	4.0
1970	112100	554347	4.9
1971	144380	730652	5.0
1972	170620	882760	5.1
1973	192020	1021102	5.3
1974	272950	1420110	5.2
1975	285950	1471120	5.1
1976	260550	1332620	5.1
1977	242125	1253526	5.1
1978	339265	1735524	5.1
1979	335650	1687311	5.0
1980	319200	1641618	5.1
1981	344015	1735236	5.0

Año	Hectáreas	toneladas	Paddy seco (t/ha)
1982	378910	1880761	5.0
1983	330490	1671034	5.1
1984	310860	1624660	5.2
1985	310600	1651600	5.3
1986	302969	1475949	4.9
1987	322970	1427545	4.4
1988	360913	1567771	4.3
1989	427305	1884804	4.4
1990	371965	1633455	4.4
1991	332594	1475112	4.4
1992	316180	1441342	4.6
1993	274545	1277387	4.7
1994	297587	1400103	4.7
1995	296717	1386082	4.7
1996	256450	1213583	4.7
1997	262934	1177625	4.5
1998	306332	1505589	4.9
1999	468031	2330085	5.0
2000	447553	2186751	4.9
2001	491570	2341099	5

Anexo 2. Características agronómicas de los parentales de los doce cruzamientos triples del FLAR seleccionados en F_1. Palmira, Villavicencio, 1998.

No.	PROGENITOR	No. CRUZAMIENTO FLAR	VG	FL	TAG	BL1	BL2	NBL	LSC	BS	GD	CB	LG	TG	AMY
1	ARAURE 4	FL03340	1	106	1	6	5	1	1	1	3	0.6	L	B	27.9
2	CAPI-93	FL03176	5	96	1	6	5	7	1	1	3	0.4	L	B	30.4
3	CNARR4955-7B-BM70A-45-5P	FL03379	5	94	1	4	3	1	1	1	3	0.6	EL	I	22.9
4	CT10308-27-3-1P-4-3-2P	FL03340	3	92	1	4	3	5	1	1	7	0.4	L	B	29.2
5	CT10825-1-2-1-3-M	FL03232	5	86	1	6	6	3	1	3	3	0.4	EL	B	22.8
6	CT10992-3-4-1T-3P-2P-3	FL03176	3	88	1	5	4	1	1	3	5	0.6	L	AI	25.7
7	CT11408-6-F4-1P-3	FL03379-03388	3	108	7	5	4	1	3	1	3	0.2	L	B	32.0
8	CT6543-28-6I-1I-2I	FL03223	3	92	1	4	4	1	1	3	1	0.2	L	I	28.2
9	CT8163-9-4-4	FL03194-03205-03388	3	100	3	5	5	1	5	1	5	0.0	L	B	29.8
10	CT8240-1-3-9P-M	FL03314	5	96	1	6	6	3	1	1	3	0.4	L	B	28.6
11	CT8250-21-12-2P-1X	FL03223	3	82	1	2	1	3	1	3	3	0.4	L	B	28.6
12	CT9159-18-2-3-1	FL03306	1	94	1	5	5	5	1	1	3	1.4	L	B	28.6
13	CT9748-13-2-1-M-M-1-1	FL03157-03306-03314	5	96	1	5	5	3	1	3	3	0.4	L	B	28.9
14	FEDEARROZ 2000	FL03144	3	96	1	5	4	3	3	1	1	0.2	L	B	29.0
15	FEDEARROZ 50	FL03205-03223-03232-03314-03379	1	102	1	3	2	1	3	1	3	0.4	L	B	28.6
16	FL0058512P-2-2P-M	FL03194-03205-03388	5	86	3	4	3	3	1	3	3	0.0	L	B	25.4
17	FL00593-6P-13P-M	FL03232	3	84	3	4	3	3	1	3	3	0.2	L	B	21.2
18	FL00596-54P-3-2P-M	FL03306-03340	5	96	1	4	4	1	1	1	1	0.0	L	B	29.2
19	FONAIAP 1	FL03205-03223-03232-03314-03379	5	96	1	5	3	3	3	1	3	0.4	EL	B	27.7
20	ICTA COLOMGUA	FL03176	5	92	1	5	6	5	1	1	1	0.2	L	B	22.6
21	IR21015-72-3-3-3-1	FL03157-03306-03314	1	90	1	3	2	7	1	1	5	0.4	L	B	29.1
22	ORYZICA 1	FL03144	3	100	1	7	6	7	1	3	7	0.2	L	B	29.1
23	ORYZICA CARIBE 8	FL03194-03205-03388	3	106	1	7	7	5	1	1	3	0.2	L	B	28.2
24	P 3050-F4-52	FL03144-03157	3	106	1	3	3	3	1	1	3	1.0	L	I	25.4
25	PSB RC-70	FL03338	3	106	1	4	3	3	3	1	1	0.2	L	B	30.0

VG: Vigor, (escala 1; planta muy vigorosa; 9: muy débil).
FL: Floración, (días de emergencia a floración).
TAG: daño a sogata (*Tagosodes orizicola*), (escala 0: libre de daño; 9: plantas muertas).
BL1 y BL2: piricularia (*Pyricularia oryzae*) a los 30 y 45 días después de emergencia, (0: ninguna lesión; 9: toda área foliar muerta).
NBL: piricularia cuello, (0: sin infección; 9: 51-100% base panícula afectada).
LSC: escaldado de la hoja, (*Rhynchosporium oryzae*).
BS: helminthosporiosis, (*Bipolaris oryzae*).
GD: manchado de grano, 0: ninguna incidencia; 9; 51-100%).
CB: centro blanco, (0: ninguna área opaca; 5: totalmente opaca).
LG: longitud de grano, (L:largo, EL: extralargo).
TG: temperatura de gelatinización (B: baja, I: intermedia; A. Alta).
AMY: porcentaje de amilosa en el grano. (CIAT, 1983).

Anexo 3. Cantidades de nutrientes en kg/ha y épocas de suministro aplicados en las tres localidades. 2002.

ELEMENTO	PALMIRA	SALADAÑA	VILLAVICENCIO	Época aplicación*
Nitrógeno[1]	160	160	120	1/3 IM; 1/3 MM; 1/3 IP
Fósforo[2]	25	25	25**	IM
Potasio[3]	60	60	30	1/2 IM; 1/2 IP
Zinc[4]	1.0	0.5	0.5	IM
Bora[4]	0.5	0.5	0.5	IM
M.O.[5]	-	-	250	IM

1: Urea, 46% nitrógeno
2. DAP (di fosfato amónico) 46% P_2O_5
3: KCl (cloruro de potasio) 60% K_2O
4: Borozinco: 20 g B + 10 g Zn /kg
5: M.O.: Materia Orgánica (lumbricompuesto)

*****: **IM**: Inicio Macollamiento;
MM: Máximo Macollamiento;
IP: Inicio Primordio.
******: presiembra incorporado.