

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y
ENSEÑANZA (CATIE)
PROGRAMA DE ENSEÑANZA
ÁREA DE POSGRADO

// Evaluación del centro blanco en poblaciones
segregantes de arroz (*Oryza sativa* L.)

Tesis sometida a la consideración del Comité Técnico de
Postgrado y Capacitación del Programa de Enseñanza en
Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del Centro
Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para
optar al grado de

Magister Scientiae

por

✓
ARIEL ERIC JAEN SANCHEZ

Turrialba, Costa Rica
1994

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Jefatura del Area de Postgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

CATIE

MAGISTER SCIENTIAE

FIRMANTES:



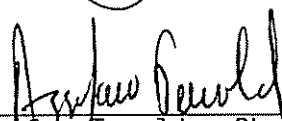
Jorge Morera, Ph. D
Profesor Consejero



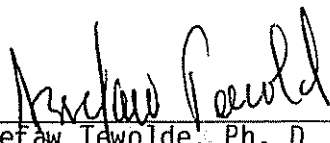
Pedro Oñoro, Ph. D
Miembro Comité Asesor



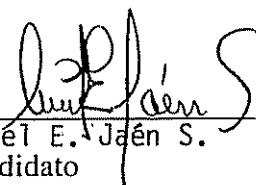
Wilberth Phillips, M. Sc
Miembro Comité Asesor



Assefaw Tewelde, Ph. D
Jefe, Area de Postgrado



Assefaw Tewelde, Ph. D
Director, Programa de Enseñanza



Ariel E. Jaén S.
Candidato

DEDICATORIA

A "DIOS", por guiar mis pasos
especialmente en los
momentos más difíciles de mi vida.

A mi madre, hermanos y sobrinos
por el cariño, apoyo y comprensión
que siempre me han brindado.

A aquellos amigos que con
sus buenos consejos han
contribuido a mi superación
personal.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio no se hubiera realizado sin la contribución de las siguientes personas e instituciones, a las cuales les expreso mis sinceros agradecimientos.

- Dr. Jorge Morera Monge por sus valiosos consejos en la revisión del trabajo.
- Dr. Federico Cuevas Pérez por su apreciada ayuda en la realización del estudio.
- Dr. Pedro Oñoro, M. Sc. Wilbert Phillips por sus observaciones en la revisión del trabajo.
- Dr. César Martínez por su ayuda durante mi estadía en el CIAT.
- Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de maestría.
- Al Centro Internacional de Agricultura Tropical por brindarme las facilidades de la institución para la realización del trabajo de tesis.
- A la Universidad de Panamá por la oportunidad de realizar mis estudios de maestría.
- Al gobierno de Holanda por su apoyo a través de una beca para el financiamiento de los estudios.
- Al Programa de Arroz de CIAT, a la Red Internacional para la Evaluación Genética del Arroz (INGER)-América Latina así como a su personal por su apoyo y amistad durante el desarrollo del estudio.
- Al personal de la Unidad de Recursos Fitogenéticos del CATIE por su amistad durante mi estadía en la institución.
- A mis amigos del CATIE por su amistad y ayuda en el transcurso de mis estudios.
- A mis amigos del CIAT por la cordial acogida durante la realización del trabajo de tesis.
- A mis compañeros de estudios, con los que pase momentos muy agradables.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN.....	vii
SUMMARY.....	ix
LISTA DE CUADROS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xii
I. INTRODUCCION.....	1
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
1. Estructura y composición del grano de arroz.....	3
1.1 Pericarpio, tegumento y nucelo.....	5
1.2 Endospermo.....	5
1.3 Embrión.....	6
2. Llenado del grano de arroz.....	6
3. Factores que afectan el llenado del grano.....	7
3.1 Temperatura.....	7
3.2 Agua.....	9
3.3 Nitrógeno.....	10
3.4 Viento.....	10
4. Calidad del grano de arroz.....	11
5. Opacidad del grano de arroz.....	12
6. Estudios sobre centro blanco.....	14
6.1 Ambiente.....	14
6.2 Instrumentos ópticos.....	14
6.3 Relaciones entre centro blanco y componentes del grano.....	15
6.4 Heredabilidad del centro blanco.....	17
6.5 Otros estudios.....	19
III. MATERIALES Y METODOS.....	21
1. Localización.....	21
2. Material experimental.....	21
2.1 Evaluación del centro blanco de la generación F_3	23
2.2 Siembra de la generación F_3	25
2.3 Transplante.....	26
2.4 Prácticas agronómicas.....	27
3. Selección y evaluación de la generación F_4	27

4. Variables.....	29
5. Análisis estadístico.....	32
5.1 Evaluación del centro blanco.....	32
5.2 Análisis de la heredabilidad.....	35
5.3 Análisis de relación entre las lecturas visual e instrumental.....	38
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	39
1. Respuesta al caracter centro blanco de los progenitores.....	39
1.1 Centro blanco en Colombia 1.....	39
1.2 Centro blanco en IR5.....	40
1.3 Centro blanco en IRAT8.....	44
2. Respuesta al caracter centro blanco de los cruces..	45
2.1 Comportamiento de Colombia 1/IR5, IR5/Colombia 1.....	45
2.2 Comportamiento de Colombia 1/IRAT8, IRAT8/Colombia 1.....	47
2.3 Comportamiento de IR5/IRAT8, IRAT8/IR5.....	49
3. Heredabilidad.....	51
3.1 Heredabilidad de los progenitores Colombia 1 e IR5 en los cruces Colombia 1/IR5, y el recíproco.....	51
3.2 Heredabilidad de los progenitores Colombia 1 e IRAT8 en los cruces Colombia 1/IRAT8, y el recíproco.....	54
3.3 Heredabilidad de los progenitores IR5 e IRAT8 en los cruces IR5/IRAT8, y el recíproco.....	58
4. Relación entre las lecturas visual e instrumental del centro blanco.....	62
4.1 Análisis en conjunto de cruces y progenitores..	62
4.2 Análisis del progenitor Colombia 1.....	62
4.3 Análisis del progenitor IRAT8.....	63
4.4 Análisis del cruce Colombia 1/IRAT8.....	63
4.5 Análisis del cruce IRAT8/Colombia 1.....	65
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	68
VI. LITERATURA CITADA.....	71
VII. APENDICE.....	77

JAEN, A.E. 1994. Evaluación del centro blanco en poblaciones segregantes de arroz (*Oryza sativa* L.). Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 77p.

Palabras claves: Arroz, grano, centro blanco, opacidad, endospermo, variedad, progenitor, cruce, generación, selección, heredabilidad, dominancia, *Oryza sativa* L.

RESUMEN

En el mejoramiento genético del arroz se busca obtener variedades con alto rendimiento, buenas características agronómicas, resistencia a plagas y/o enfermedades, y buena calidad de grano.

Dentro de la calidad del grano se observa la presencia de centro blanco u opacidad del endospermo. La obtención de variedades con reducida o ausente presencia de centro blanco, para la satisfacción de los consumidores, productores y molineros; es un problema debido a la inestabilidad de las líneas de arroz en su respuesta a la selección.

El objetivo de éste trabajo fue estudiar el caracter centro blanco del grano utilizando la técnica de selección en poblaciones segregantes (F_3 y F_4) de arroz.

El estudio se llevó a cabo en Colombia en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Se utilizaron 6 cruces de arroz en generación F_3 , siendo estos: Colombia 1/IR5, Colombia 1/IRAT8, IR5/Colombia 1, IR5/IRAT8, IRAT8/Colombia 1, IRAT8/IR5. La unidad experimental utilizada consistió en un surco de 5 m de longitud por familia y en cada surco un máximo de 17 plantas, siendo la distancia de siembra de 30 x 30 cm entre plantas.

Los datos de la relación volumen del centro blanco/volumen del grano, de las generaciones F_3 y F_4 , fueron utilizados en el análisis estadístico sobre la presencia y heredabilidad del centro blanco.

El progenitor Colombia 1 registró un mayor número de granos sin centro blanco; IR5 presentó menor cantidad de granos sin centro blanco que Colombia 1; mientras que IRAT8 tuvo la menor cantidad de granos sin centro blanco de los tres progenitores.

En el cruce Colombia 1/IR5 y el recíproco se observó una dominancia del progenitor Colombia 1 sobre IR5, tanto en la

F_3 como en la F_4 . Al analizar los datos del cruce Colombia 1/IRAT8 y el recíproco, fue notoria la influencia del progenitor Colombia 1 sobre IRAT8. El cruce IR5/IRAT8 y el recíproco mostraron gráficamente un dominio por parte de IRAT8 en la generación F_3 ; mientras en la generación F_4 no se apreció un dominio de ninguno de los dos progenitores.

En general los progenitores así como los cruces manifestaron una tendencia a aumentar el número de granos con centro blanco de una siembra a la otra y de una generación a la siguiente.

El progenitor Colombia 1 presentó dominancia sobre IR5 en los cruces Colombia 1/IR5, IR5/Colombia 1 dando lugar a una mayor heredabilidad de Colombia 1 que de IR5. Ambos progenitores mostraron mayor dominancia en los cruces al usarse como progenitor masculino. En el cruce Colombia 1/IRAT8 y el recíproco, el progenitor Colombia 1 presentó dominancia sobre IRAT8 en las generaciones F_2 , F_3 presentando una mayor heredabilidad en los cruces; mientras que IRAT8 presentó dominancia sobre Colombia 1 en la generación F_4 .

En el cruce IR5/IRAT8 y el recíproco se observó una dominancia del progenitor IR5 sobre IRAT8 en la generación F_2 ; luego en la F_3 hubo dominio de IRAT8 y en la F_4 no existió dominio de ninguno de los dos progenitores. Ambos progenitores mostraron mayor dominancia cuando se emplearon como progenitor masculino.

Al comparar los datos de la lectura visual del centro blanco, utilizada en el laboratorio de calidad, y los obtenidos empleando un instrumento óptico se apreció una buena correlación entre ambas lecturas.

En éste estudio se observó la tendencia del caracter centro blanco del grano de arroz de aumentar su presencia en las líneas segregantes a medida que se avanza de una generación a otra. Así mismo se observó la ausencia de efecto materno en la heredabilidad del centro blanco.

JAEN, A.E. 1994. Evaluation of the white center in rice segregant populations (*Oryza sativa* L.) Mag. Sc. Tesis. Turrialba, C.R., CATIE. 77p.

Key Words: Rice, grain, white center, opacity, endosperm, variety, progenitor, cross, generation, selection, inheritability, dominancy, *Oryza sativa* L.

SUMMARY

In rice grain genetic improvement varieties with high yield, good agronomic characteristics, resistance to pests and/or diseases, and good grain quality are sought.

Grain quality, encompasses white center presence and endosperm opacity. Obtaining varieties, with little, or no white center, for the consumers, producers and grinders satisfaction, is a problem due to instability of rice lines in response to selection.

The purpose of this work was to study the grain's white center character, utilizing the selection technique in rice segregant populations (F_3 and F_4).

The study was carried out in Colombia in the International Tropical Agriculture Center (CIAT). Six rice crosses were used in the F_3 generation; these were: Colombia 1/IR5, Colombia 1/IRAT8, IR5/Colombia 1, IR5/IRAT8, IRAT8/Colombia 1, IRAT8/IR5.

The experimental unit used consisted of a 5 m long furrow by family with a maximum of 17 plants and a planting distance of 30 x 30 cm between plants.

The white center volume/grain volume relation data were used in the statical analysis about the presence, white center inheritability.

The Colombia 1 progenitors showed a major number of grains without white centers; IR5 presented fewer grains without white centers than Colombia 1; while IRAT8 had the least amount of white centerless grains of the three progenitors.

In the Colombia 1/IR5 cross and its reciprocal, we observed a Colombia 1 progenitor dominance over, in the F_3 as well as in the F_4 .

When Colombia 1/IRAT8 cross data, were analyzed the influence of Colombia 1 progenitor on IRAT8 was evident. Graphically, the IR5/IRAT8 cross and its reciprocal showed IRAT8 domination in the F_3 generation, while no domination of either of the two progenitors appeared in the F_4 generation.

In general, progenitors as well as crosses manifested a tendency to increase grain numbers with white centers from one seeding to another and from one generation to the next.

The Colombia 1 progenitor showed dominancy over IR5 in the Colombia 1/IR5, IR5/Colombia 1 crosses proving Colombia 1 's inheritability to be greater than IR5 's. Both progenitors showed greater dominance in crosses when used as male progenitors. In the Colombia 1/IRAT8 cross and reciprocal, the Colombia 1 progenitor presented dominancy over IRAT8 in the F_2 generations, F_3 showed a greath inheritability in the crosses, while IRAT8 presented dominancy over Colombia 1 in the F_4 generation.

In the IR5/IRAT8 cross and reciprocal, we observed IR5 progenitor dominance over IRAT8 in the F_2 generation, IRAT8 dominance in the F_3 , but neither of the two progenitors dominated in the F_4 . Both progenitors showd greater dominance when they were used as male progenitors.

When comparing white center visual reading datas, used in the quality laboratory, and those obtained utilizing a optic instrument, a good correlation between both readings was noted.

In this study, the tendency of rice grain white center to increase in the segregant lines it advanced from one generation to another is noted. Likewise, the absence of the maternal inheritability effect of white centers was observed.

LISTA DE CUADROS

Cuadro N°	Página
1 Características generales de los progenitores utilizados en los cruces. CIAT, 1993.....	24
2 Número de familias y granos por generación, cruces y progenitores medidos en el laboratorio CIAT, 1993.....	31
3 Frecuencias relativas (en %) reportadas para el centro blanco para las progenies F_3 y progenitores. CIAT, 1993.....	42
4 Frecuencias relativas (en %) reportadas para el centro blanco para las progenies F_4 y progenitores. CIAT, 1993.....	43
5 Porcentaje de heredabilidad para centro blanco de los progenitores Colombia 1, IR5 en los cruces Colombia 1/IR5, IR5/Colombia 1 en las generaciones F_2 , F_3 , F_4 . CIAT, 1993.....	52
6 Porcentaje de heredabilidad para centro blanco de los progenitores Colombia 1, IRAT8 en los cruces Colombia 1/IRAT8, IRAT8/Colombia 1 en las generaciones F_2 , F_3 , F_4 . CIAT, 1993.....	55
7 Porcentaje de heredabilidad para centro blanco de los progenitores IR5, IRAT8 en los cruces IR5/IRAT8, IRAT8/IR5 en las generaciones F_2 , F_3 , F_4 . CIAT, 1993.....	59

En el apéndice

Anexo N°	Página
1 Datos meteorológicos registrados en el Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, Palmira, Colombia, durante el período de estudio (octubre de 1992 a abril de 1993).....	77

LISTA DE FIGURAS

Figura N°		Página
1	Estructura del grano de arroz.....	4
2	Flujo de nutrientes para el desarrollo del grano de arroz.....	8
3	Representación gráfica (generación F ₃) de los progenitores, cruce y número de familias involucradas en el estudio del centro blanco. CIAT, 1993.....	22
4	Representación gráfica (generación F ₄) de los progenitores, cruce y número de familias involucradas en el estudio del centro blanco. CIAT, 1993.....	30
5	Respuesta al centro blanco de los progenitores. CIAT, 1993.....	41
6	Respuesta al centro blanco de Colombia 1/IR5, IR5/Colombia 1. CIAT, 1993.....	46
7	Respuesta al centro blanco de Colombia 1/IRAT8, IRAT8/Colombia 1. CIAT, 1993.....	48
8	Respuesta al centro blanco de IR5/IRAT8, IRAT8/IR5. CIAT, 1993.....	50
9	Correlación entre la lectura visual (grados) y la instrumental (%) del centro blanco del progenitor Colombia 1. CIAT, 1993.....	64
10	Correlación entre la lectura visual (grados) y la instrumental (%) del centro blanco del progenitor IRAT8. CIAT, 1993.....	64
11	Correlación entre la lectura visual (grados) y la instrumental (%) del centro blanco del cruce Colombia 1/IRAT8. CIAT, 1993.....	67
12	Correlación entre la lectura visual (grados) y la instrumental (%) del centro blanco del cruce IRAT8/Colombia 1. CIAT, 1993.....	67

I. INTRODUCCION

El arroz (*Oryza sativa* L.) es un cereal con una elevada producción y uno de los alimentos básicos en la alimentación de la humanidad, principalmente en los países en vías de desarrollo. Los programas de mejora genética a nivel mundial buscan obtener variedades de alto rendimiento, caracteres agronómicos deseables, resistencia a plagas, enfermedades y líneas de alta calidad de grano y/o endosperma claro.

La calidad del grano en arroz se fija con base en tres componentes: molinera, culinaria y nutricional. Dentro de la calidad culinaria se observa el componente apariencia del grano; el cual depende del color, forma, tamaño, peso, longitud y presencia de centro blanco. La necesidad de obtener variedades con poco o ningún centro blanco (granos translúcidos) no es sólo para satisfacción de los consumidores, sino de los productores y molineros. El consumidor está dispuesto a pagar un precio mayor por granos de arroz con endosperma claro; mientras que para el productor y el molinero arroces con poco o ningún centro blanco representan mayor rendimiento en el molino y por ende una mayor utilidad económica.

En la evaluación del centro blanco como componente de la calidad del arroz, el uso de selección con base en éste caracter en generaciones tempranas, resulta muy apropiado, ya que usualmente los fitomejoradores no esperan hasta obtener líneas avanzadas (F_7 , F_8), para realizar la prueba de calidad, sino que la misma es aplicada en generaciones tempranas (F_2 , F_4).

En estudios de mejoramiento genético realizados (Jennings et al. 1981) se ha observado el problema de la inestabilidad de las líneas de arroz seleccionadas en su respuesta en distintas generaciones al caracter centro blanco. Esta inestabilidad observada conllevó a la realización de éste trabajo específico para estudiar el caracter centro blanco utilizando la técnica de selección en poblaciones segregantes (F_3 y F_4) de arroz.

II. REVISION DE LITERATURA

1. Estructura y composición del grano de arroz

El arroz es un cereal que se consume principalmente como grano entero, por lo cual, el conocimiento de la estructura y composición de la carióspside es importante para entender las propiedades físico-químicas y bioquímicas de sus constituyentes (CIAT, 1989). La estructura del grano de arroz (Figura 1) es una carióspside en la cual, la semilla única está fusionada con la pared (pericarpio) del ovario maduro, formando un grano en forma de semilla (De Datta, 1986). La carióspside del grano de arroz está cubierta por una corteza (cáscara) formada por dos hojas modificadas (pálea y lema), las cuales se mantienen unidas por estructuras en forma de gancho (Bechtel y Pomeranz, 1978).

La carióspside varía ampliamente en forma y tamaño de acuerdo al tipo de arroz. La semilla de arroz madura se cosecha como un grano cubierto, en el cual está encerrada la carióspside (De Datta, 1986). La carióspside esta conformada por varias capas: pericarpio, tegumento, nucelo, endospermo, y embrión (CIAT, 1989).

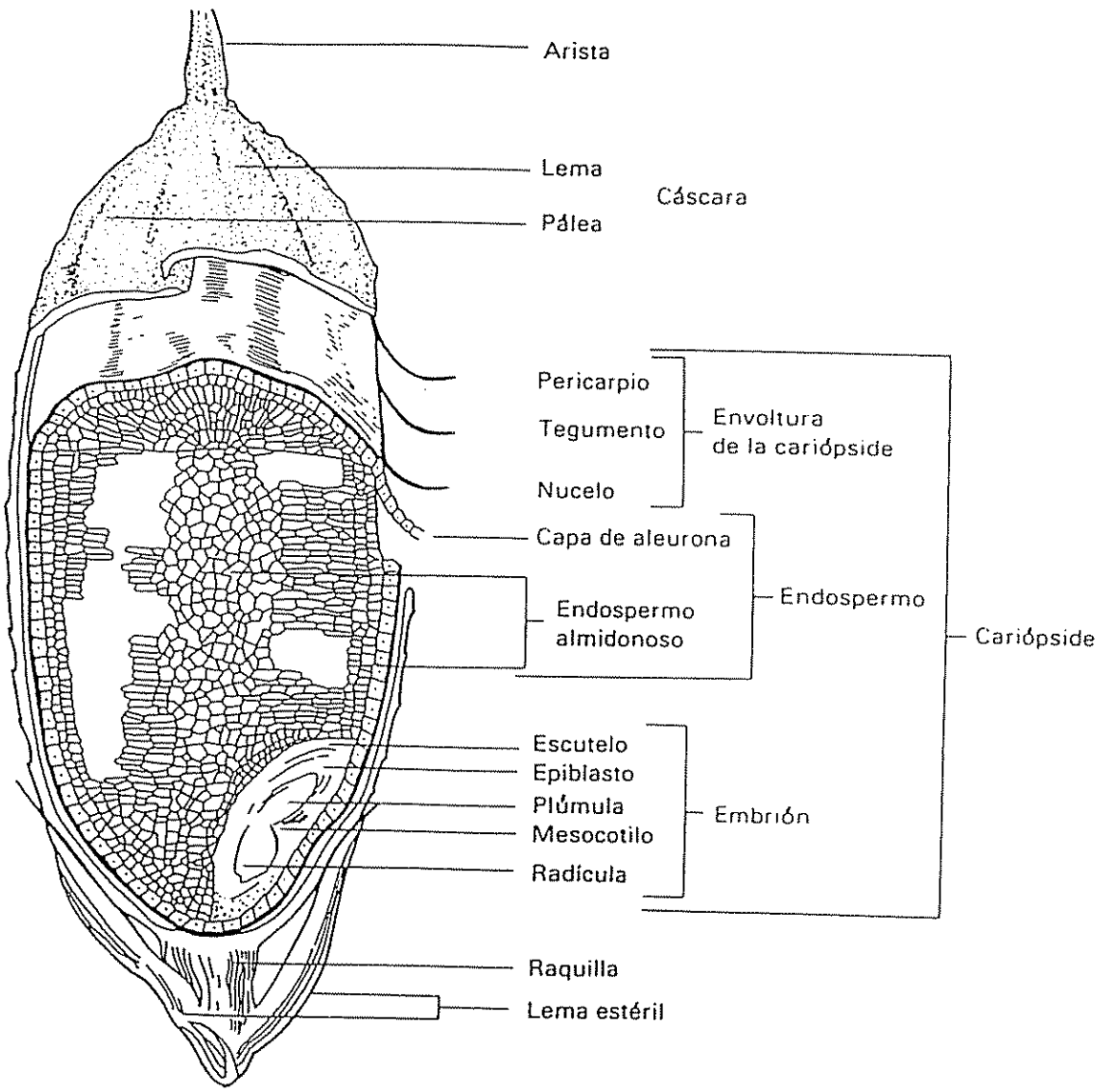


Figura 1. Estructura del grano de arroz (Adaptado de Juliano y Aldama 1937; Juliano 1980).

1.1 Pericarpio, tegumento y nucelo

Bechtel y Pomeranz (1980) indican que el pericarpio es la pared del ovario maduro, la cual se degenera durante el desarrollo de la cariósida. El pericarpio adicionalmente se compone de varias capas de células, donde la superficie externa tiene apariencia ondulada y cutícula delgada. Debajo del pericarpio se encuentra el tegumento y junto a él se localiza el nucelo (De Datta, 1986).

1.2 Endospermo

La aleurona es la capa que encierra completamente el endospermo y la parte externa del embrión. El número de capas de aleuronas depende de su localización en el grano, la variedad y los factores ambientales. La capa de aleurona es rica en fósforo, magnesio y potasio (Tanaka *et al.* 1974). El endospermo está dividido en dos regiones: la subaleurona, localizada debajo de la capa de aleurona, y la región central que consta del resto del endospermo (CIAT, 1989). Según Juliano (1972) el endospermo consta de células parenquimatosas de pared delgada, por lo general, alargadas radialmente y con alta cantidad de gránulos de almidón compuestos y algunos cuerpos proteínicos.

1.3 Embrión

El embrión o germen es pequeño y se localiza en el lado ventral de la cariósida. El embrión contiene las hojas embrionarias (plúmula) y la raíz embrionaria primaria (radícula), que están unidas por un tallo corto (mesocotilo). La plúmula está rodeada por una cubierta protectora en forma de cilindro, el coleoptilo, y la radícula se rodea por una masa de tejido blanco, la coleorriza. La superficie externa del embrión es rodeada por la capa de aleurona. El coleoptilo por su parte es rodeado por el escutelo y el epiblasto. El rastro vascular del coleoptilo es fusionado con las partes laterales del escutelo (Juliano, 1972).

2. Llenado del grano de arroz

La planta de arroz acumula carbohidratos y azúcares en los tallos y vainas de las hojas. Después de la floración, estos carbohidratos se translocan a la panícula, y de ahí a las espiguillas durante el proceso de llenado del grano. Los carbohidratos viajan a través del floema de abajo hacia arriba y luego a los haces vasculares del pericarpio, para pasar finalmente al endospermo a través del nucelo y la capa de aleurona (CIAT, 1989). La fase de llenado del grano de arroz se realiza en dos sentidos, de la parte dorsal a la

parte central y de arriba hacia abajo (Figura 2).

El llenado del grano de arroz puede verse afectado por factores ambientales tales como temperaturas altas, deficiencias nutricionales o hídricas, ataques de plagas o enfermedades, provocando una mayor o menor presencia de centro blanco (CIAT, 1989). La presencia y grado de centro blanco en el grano están parcialmente bajo control genético; no obstante algunos factores ambientales afectan marcadamente su expresión (Jennings *et al.* 1981).

3. Factores que afectan el llenado del grano

3.1 Temperatura

Estudios efectuados con plantas cultivadas a distintas temperaturas (CIAT, 1989), mostraron que los granos de las plantas que crecieron a 30° C fueron granos blandos en su parte periférica, tanto dorsal como basal; lo cual sugiere una acumulación retardada de carbohidratos en esas áreas. Jennings *et al.* (1981) indican que la temperatura inmediatamente después de la floración, parece ser el principal factor ambiental que influye en la opacidad del grano; las altas temperaturas incrementan el centro blanco y las bajas lo reducen o eliminan. Juliano (1972) menciona que

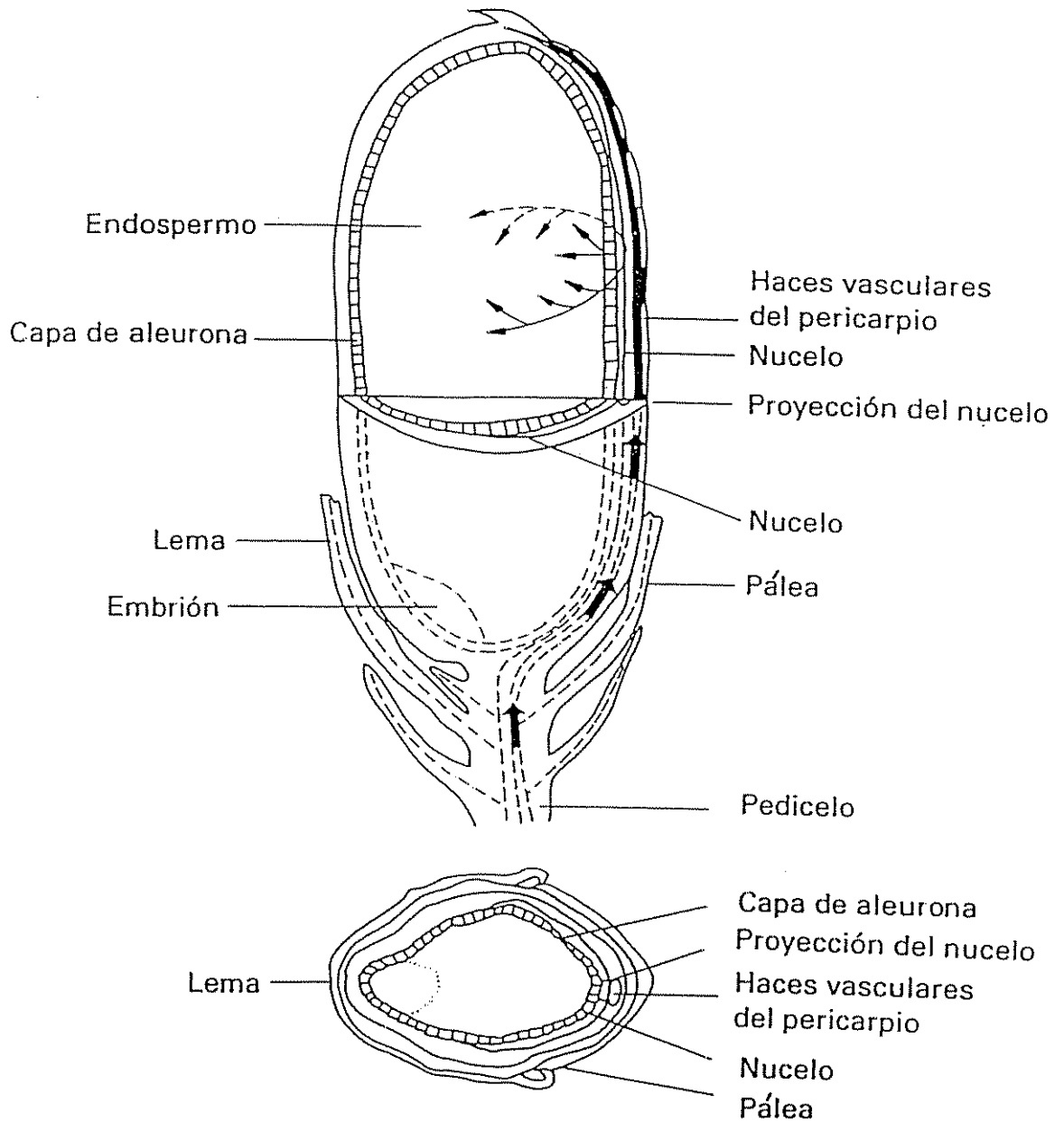


Figura 2. Flujo de nutrientes para el desarrollo del grano de arroz (Tomado de Juliano, 1985).

la presencia de centro blanco decrece cuando baja la temperatura y aumenta cuando sube la temperatura durante la noche. El efecto de la temperatura en una mayor o menor presencia del centro blanco se aprecia en el comportamiento de las variedades IR22, Cica 7 y Oryzica 1, que presentan poco centro blanco en diferentes ambientes; mientras otras variedades como Cica 4 y Cica 8, tienen endosperma claro en pocos ambientes y opaco en la mayoría. Las variedades IR8 y Oryzica 2 presentan centro blanco en todos los ambientes (CIAT, 1989).

3.2 Agua

Debido al sistema de circulación interna del agua en el grano, la humedad en el grano de arroz no se encuentra distribuida de forma uniforme entre sus distintas regiones (basal, apical, central y periférica). Por esta razón cuando hay escasez de agua, unas regiones se ven más rápidamente afectadas que otras, lo cual influye en el llenado del grano y en la presencia del centro blanco (CIAT, 1989). Según Jennings, Coffman, kauffman (1981) el manejo del agua en el cultivo de arroz puede afectar la presencia de centro blanco.

3.3 Nitrógeno

Inocencio *et al.* (1984) encontraron al trabajar con la variedad IR1529, que la cristalinidad de los granos de arroz, es afectada por el incremento en la aplicación de nitrógeno, lo que aumenta el porcentaje de centro blanco y por ende aumenta el peso de los granos.

Pérez *et al.* (1990) estudiaron la influencia del nitrógeno de distintas fuentes de origen y aplicados en época seca y lluviosa en la calidad del grano de arroz. Se observó un incremento en la translucencia de los granos sin importar la fuente de nitrógeno utilizada; los granos translúcidos fueron más grandes en la época seca que en la lluviosa.

3.4 Viento

Tashiro *et al.* (1980) estudiaron el efecto del viento sobre la presencia del centro blanco en el grano de arroz; concluyeron que el centro blanco aumenta conforme se incrementa la velocidad del viento. Tashiro y Ebata (1976); Tashiro *et al.* (1980) encontraron una relación entre la velocidad de deshidratación del grano y el porcentaje de centro blanco presente en el grano, como las condiciones ambientales afectan el proceso de deshidratación del grano,

están afectando también la presencia del centro blanco.

4. Calidad del grano de arroz

Cuando nos referimos al término calidad del grano de arroz, se debe tener claro lo variable que resulta la expresión para las distintas personas relacionadas con el cultivo. Lo que para un grupo de personas puede ser bueno y aceptable para otros puede ser malo e inaceptable (CIAT, 1987). Mientras el técnico en semillas relaciona el término semilla con alto porcentaje de pureza y libre de otro material, el productor lo asocia con una alta germinación y vigor en el campo. Para el molinero por su parte, lo esencial es obtener el mayor porcentaje de granos enteros translúcidos, y para el consumidor lo importante es la apariencia externa, sabor, olor y rendimiento después del cocimiento (CIAT, 1989). De Datta (1986) indica que la calidad del grano de arroz es el factor más importante considerado por los fitomejoradores después del rendimiento. La no aceptación de los consumidores del sabor, textura, aroma o aspecto de una variedad recién desarrollada disminuye su utilidad.

5. Opacidad del grano de arroz

El centro blanco "panza blanca" es una opacidad que se presenta en los arroces glutinosos (arroces completamente opacos), debido a la presencia de poros dentro de los gránulos de almidón; en los arroces no glutinosos se debe a la falta de compactación de las partículas de almidón y proteína en las células (IRRI, 1976). Los granos de almidón de las áreas translúcidas son granos polihedros compactos, los de las áreas opacas son esféricos y de baja compactividad (CIAT, 1989).

Weon Seo y Hayakawa (1980) observaron el centro blanco conformado por cuerpos esféricos irregulares y espacios de aire entre los gránulos de almidón durante todo el período de maduración del grano de arroz. La opacidad no debe confundirse con la apariencia superficial similar del arroz glutinoso o ceráceo, o con aquella de granos inmaduros, yesosos, cosechados con un alto contenido de humedad (Jennings et al. 1981). Dependiendo de la región del endospermo donde se presente la opacidad recibe distintos nombres. Si la opacidad se observa en la región central del endospermo se le llama "centro blanco". Cuando la opacidad ocupa la parte ventral del grano se le denomina "panza blanca" y si es dorsal se le denomina "dorso blanco"

(Juliano, 1972). Para la caracterización de germoplasma de arroz resulta más práctico agrupar los tres tipos de manchas en una sola categoría llamada "centro blanco" (CIAT, 1989). El aspecto del grano de arroz está determinado, en gran parte, por la opacidad del endospermo: a mayor contenido de almidón menor es el valor que tiene el arroz en el mercado (De Datta, 1986).

Jennings *et al.* (1981) señalan que la apariencia del arroz molinado es importante para el consumidor y, por consiguiente, para el productor y el molinero. Es así como el consumidor prefiere arroces con un endosperma claro y paga un precio superior por él, aún cuando la opacidad desaparece durante la cocción y no altera la calidad nutricional. Esta preferencia por un endosperma completamente translúcido se observa en todos los mercados de arroz. Juliano (1972); Khush *et al.* (1979); CIAT (1989), agregan que los granos con centro blanco contribuyen en mayor grado al rompimiento del grano durante el proceso de molienda; debido a que las regiones opacas del endospermo, resultan más blandas que las regiones cristalinas, aumentando dicho rompimiento bajo condiciones de estrés. Esta característica indeseable de los granos yesosos hace que variedades con alto porcentaje de granos opacos sean rechazados por los consumidores y molineros. La excepción ocurre en los mercados de México,

donde el arroz de grano medio y grueso con centro blanco recibe un precio especial, superior al grano largo translúcido (CIAT, 1989).

6. Estudios sobre centro blanco

6.1 Ambiente

El centro blanco es una característica genética y en su expresión influye mucho el medio ambiente. Las variaciones observadas se pueden deber al tamaño de la muestra empleada en la evaluación (Martínez, 1986). Se determinó que al utilizar muestras de 3, 20 y 100 g, la última presentó la mayor precisión. El uso de muestras de 3 y 20 g es recomendable en generaciones tempranas y las muestras de 100 g en generaciones avanzadas (F_5 , F_6) para eliminar aquellas líneas con calidad inferior (Martínez, 1986).

6.2 Instrumentos ópticos

Al comparar la lectura visual del centro blanco, respecto a la realizada con instrumentos ópticos, la correlación entre la calificación visual y la óptica no siempre resultó significativa. La evaluación visual ignora las opacidades pequeñas y se concentra sólo en la parte opaca de mayor

tamaño; la evaluación instrumental estima toda la opacidad presente en el grano, en una escala de 0 a 100 % (IRRI,1984). Jin y Qiu (1988) estudiaron la determinación óptica de la opacidad del grano del arroz, encontraron una correlación negativa significativa entre la translucencia del grano y la opacidad. Se debe tener cuidado cuando se trata de granos yesosos, ya que el endospermo yesoso reduce la translucencia del grano.

6.3 Relaciones entre centro blanco y componentes del grano

Liou (1986a) estudió la relación entre la presencia del centro blanco y la posición que ocupa el grano en la espiga, encontrando que el porcentaje de centro blanco, fue más alto en los granos que se localizaban en la rama superior que en la inferior.

Ebata y Tashiro (1973) observaron que existe una relación estrecha entre el largo/ancho del grano de arroz y la presencia del centro blanco; sin embargo, no hubo correlación entre la razón largo/ancho y la presencia del centro blanco; siendo la relación entre el peso del grano y la presencia del centro blanco positiva y altamente significativa.

Estudios comparativos de la forma del grano y calidad del grano de arroz, en variedades japónicas e índicas, mostraron que las variedades japónicas tuvieron granos grandes y anchos con bajo porcentaje de centro blanco; mientras las variedades índicas mostraron granos pequeños y gruesos con un alto porcentaje de centro blanco (Liou, 1983,1985). Takita (1987) al estudiar la relación entre el ancho del grano y la presencia del centro blanco; encontró una alta correlación entre la presencia de la opacidad del grano y el ancho del mismo. Para las variedades índicas, el porcentaje de granos con opacidad fue mayor al 90 % cuando el ancho del grano fue mayor de 3,1 mm; y para las variedades japónicas este porcentaje fue menor del 50 % para granos con un ancho mayor de 3,1 mm. Yang et al. (1985) analizaron las relaciones entre la forma del grano de arroz y sus distintas partes y llegaron a la conclusión que la opacidad del grano y la forma son mutuamente independientes. Liou (1986b) estudió la relación entre el peso del grano, la forma, el porcentaje de centro blanco y el cultivo bajo riego y en secano. Observó la presencia de un alto porcentaje de granos con centro blanco en cultivo bajo riego. El peso de 100 granos resultó con correlación no significativa con el porcentaje de centro blanco para la plantas cultivadas tanto bajo riego como en secano. La correlación entre el porcentaje de granos con centro blanco de plantas bajo riego, y el largo x ancho o

volumen del grano, fue positiva y significativa.

6.4 Heredabilidad del centro blanco

Estudios realizados en la India y Estados Unidos (USDA, 1963; citados por Chang y Somrith, 1979) asumieron el carácter centro blanco como monogénico recesivo (wc, wb). Otros estudios sugieren que se trata de un sistema multigénico que interactúa con factores ambientales (Seetharaman, 1964; Nakatani y Jackson, 1973; Samoto y Hamamura, 1973; citados por Chang y Somrith, 1979). El carácter centro blanco mostró un comportamiento cuantitativo controlado por poligenes con efectos dominantes (Guo et al. 1982,1983). Al observar los resultados de la F₁ de cruces dialélicos Clement y Poisson (1984) sugieren que el carácter centro blanco es regulado por la acción de dos genes dominantes y la acción de dos genes modificadores.

Qi et al. (1983) estudiaron las poblaciones segregantes de los cruces de tres variedades sin centro blanco y tres variedades con centro blanco, encontrando que la heredabilidad promedio en sentido amplio para este carácter fue de 76,5 % . Lin (1989) al realizar cruces entre variedades de diferente glutinosidad, dedujo que el carácter del grano yesoso era controlado por un gen simple recesivo.

Al cruzar una variedad sin centro blanco con dos de centro blanco, la proporción de la segregación indicó que el centro blanco fue controlado en un caso por un gen simple dominante y en el otro por un gen simple recesivo. Yang et al. (1986) observaron el efecto de "xenia" para el endosperma yesoso en híbridos y en la segregación F_2 . El análisis genético demostró que el endosperma yesoso es controlado por dos genes mayores recesivos. Kumar et al. (1987) indican que al cruzar la variedad IR29 yesosa con cuatro variedades de alto, intermedio y bajo contenido yesoso, el resultado mostró que el carácter yesoso del IR29 es controlado por un gen mayor simple. Kuo y Liu (1986) al analizar los datos de un cruce dialélico 6 x 6, entre variedades diferentes en frecuencia y cantidad de opacidad, indicaron que los efectos aditivos fueron más importantes que los efectos dominantes de los dos caracteres. La heredabilidad estimada para ambos caracteres fue alta y se notó el efecto materno.

A fin de observar el efecto materno sobre el centro blanco, Yun-Bi y Zong-Tan (1988), utilizaron la F_1 como madre para retrocruzarla con el progenitor de menor centro blanco. La variación en centro blanco fue influenciada por el progenitor femenino. Srivantaneeyakul (1988), encontró que la opacidad en granos de arroz fue de carácter recesivo, de baja heredabilidad.

Jennings *et al.* (1981) indican que la presencia y grado de centro blanco esta parcialmente bajo control genético. Existe información sobre el control genético del centro blanco por parte de un gen recesivo, algo debatido por algunos fitomejoradores; sin embargo, en retrocruzamientos a padres con centro blanco, las progenies muestran un porcentaje apreciable de granos translúcidos; lo cual indica que la herencia del centro blanco es poco compleja.

Cuando se utiliza material de bajo centro blanco, la probabilidad de obtener líneas de bajo centro blanco en las siguientes generaciones se incrementa. Es posible obtener progenies de bajo centro blanco a partir de plantas de alto centro blanco; para esto es necesario aumentar el número de selecciones individuales, que comúnmente se hacen en generaciones segregantes, a fin de incrementar la posibilidad de escoger las pocas plantas de bajo centro blanco (CIAT, 1987).

6.5 Otros estudios

El uso de irradiación con cobalto fue también utilizada a fin de reducir el centro blanco en los granos de arroz. En 1983 se irradió plantas de la variedad "Oro", cultivada en Chile, algunos de los mutantes presentaron una reducción en el grado

de centro blanco (CIAT, 1985). Por su parte, Wang (1988) al seleccionar plantas híbridas de cruces entre japónica x indica eligió plantas con granos sin y con poco centro blanco. El porcentaje de granos yesosos se incrementó de un 8,1 % en 1984 a 17,8 % en 1986.

III. MATERIALES Y METODOS

1. Localización

El estudio se llevó a cabo, en Colombia, en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). El CIAT es uno de los 18 Centros Internacionales de Investigación Agrícola y Capacitación. Está bajo los auspicios del Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR). El CIAT se encuentra localizado en el Municipio de Palmira, Departamento del Valle del Cauca, Colombia y la ubicación geográfica es de latitud 3°, 30' N y longitud 76°, 19' O, con una altitud de 965 msnm. Los datos meteorológicos registrados durante el ciclo del cultivo se muestran en el Anexo 1.

2. Material experimental

Se utilizaron 6 cruces de arroz en generación F_3 , provenientes de un estudio previo sobre centro blanco realizado en el CIAT entre 1989-91. Los cruces fueron: Colombia 1/IR5, Colombia 1/IRAT8, IR5/Colombia 1, IR5/IRAT8, IRAT8/Colombia 1, IRAT8/IR5. El número de familias por cruce osciló entre 93 y 99; más 50 familias por cada progenitor (Figura 3).

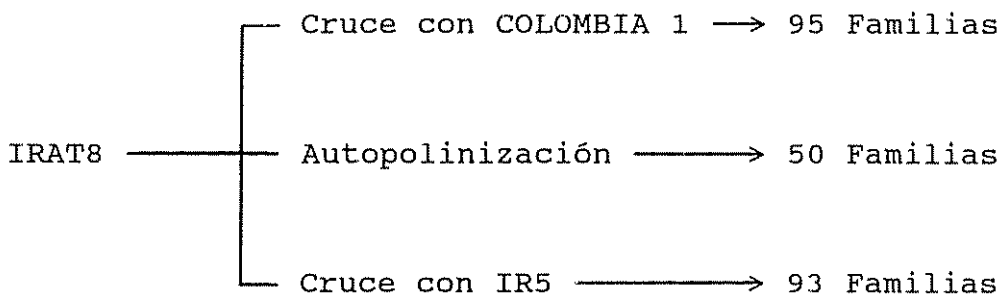
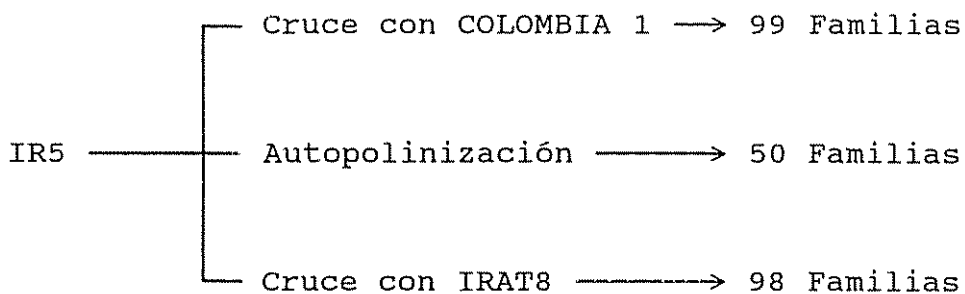
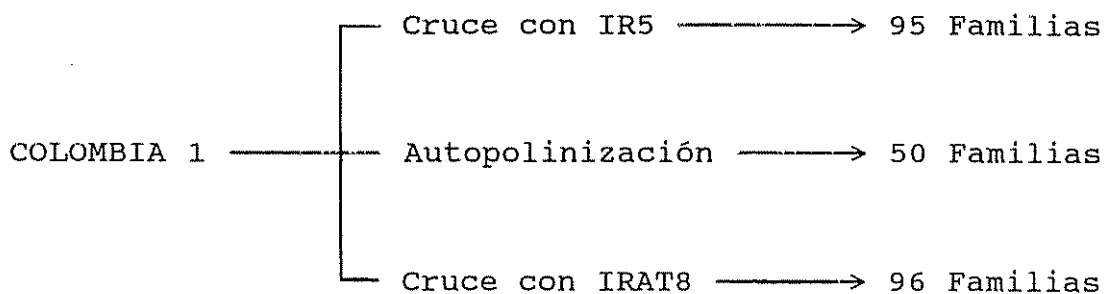


Figura 3. Representación gráfica (generación F_3) de los progenitores, cruce y número de familias involucradas en el estudio del centro blanco. CIAT, 1993.

Los progenitores utilizados en los cruces fueron seleccionados entre un grupo de variedades del Programa de arroz del CIAT (Holgin, 1993). Los progenitores seleccionados (Cuadro 1) como testigos Colombia 1, IR5, IRAT8 representan un grupo variable respecto a la presencia y tamaño de centro blanco en el grano de arroz.

2.1 Evaluación del centro blanco de la generación F_3 .

Para proceder a la evaluación del centro blanco de cada grano de arroz, se descascararon en forma manual los granos, utilizando una descascaradora marca "Satake", diseñada para trabajar con muestras pequeñas y evitar mezclas físicas del material experimental. Los granos descascarados se pulieron, luego se removieron las capas superficiales (pericarpio, tegumento y aleurona), a fin de poder observar con mayor claridad el centro blanco. Con las muestras pulidas se procedió a la evaluación del centro blanco, utilizando para esta labor un estereoscopio con micrómetro incorporado. La evaluación incluía la determinación del largo, ancho y grosor de cada grano.

En el caso de aquellos granos que presentaron centro blanco, se tomó la medida del largo, ancho y grosor del área opaca. Cuando se presentó más de una zona opaca en el grano de

Cuadro 1 .Características generales de los progenitores utilizados en los cruces. CIAT, 1993.

Característica	Progenitor		
	Colombia 1	IR5	IRAT8
Vigor *	5	5	9
Floración (dds)	111	120	110
Altura (cm)	120	110	95
Senescencia *	1	5	5
Volcamiento *	1	1	1
Exerción de la panícula*	1	s/d	5
Desgrane *	9	5	9
Esterilidad-espiguillas*	5	1	1
Longitud del grano (mm)	6	6,3	6,8
Opacidad-endospermo (0-5)	0	2,4	2,8
Contenido de amilosa (%)	19	32	30
Piricularia en la hoja *	3	8	8
Piricularia en el cuello*	3	7	4
Hoja blanca *	2	2	7
Helminthosporiosis *	6	4	5
Sogata *	9	3	5
Minador de la hoja *	7	7	7
(<u>Hydrellia</u> sp.)			

* Calificaciones según la escala "Sistema de evaluación estándar para arroz", con escala de 1 a 9. Donde 1 representa lo mejor y 9 lo peor.

s/d = sin dato

Fuente: Banco de Germoplasma del CIAT.

arroz, se sumaron los valores obtenidos de éstas zonas y se registraron como una sola observación.

Una vez medidos, los granos de arroz se colocaron de manera individual en sobres; los cuales tenían escrito el código asignado por cruce, familia y grano. El número de semillas medido por familia, tanto para los cruces como para los progenitores, fue de 20. Con las medidas del largo, ancho y grosor efectuadas a los granos y zonas opacas, se determinaron las medidas del volumen del grano y del centro blanco. Las relaciones de las medidas de volumen del grano y del centro blanco, fueron las utilizadas en los análisis de las progenies F_3 y los progenitores. La técnica de medición de centro blanco se utilizó además en granos en la generación F_2 , para emplear los datos obtenidos sólo en los análisis de heredabilidad del centro blanco.

2.2 Siembra de la generación F_3

La siembra de las semillas de arroz, se realizó en bandejas de 32 cm de largo, 29 cm de ancho y 13 cm de profundidad. Las bandejas contenían, en 2/3 de su capacidad, una mezcla de tierra CIAT (arcillosa), tierra de Santander de Quilichao (franca) y arena en proporción 3:5:2, respectivamente. Esta mezcla proporcionó a las semillas descascaradas un medio

adecuado para su germinación. Las bandejas fueron ubicadas dentro de la casa de malla para proteger al semillero de posibles daños físicos o plagas.

En las pruebas de germinación, a pesar de utilizar tierra esterilizada, se notó el ataque de hongos a la semilla descascarada, para lo cual se empleó un fungicida (Dithane M-45) como protector al momento de la siembra. La mecánica de siembra consistió en sacar, con la ayuda de unas pinzas, la semilla del sobre que la contenía, ponerla en contacto con el fungicida, para luego efectuar la siembra, haciendo coincidir el número de semilla dentro de la familia, con el de la cuadrícula guía, siempre teniendo el cuidado de no dañar el embrión. Los cuidados proporcionados al semillero incluyeron el suministro de agua, control de malezas y fertilización adecuada durante el proceso de germinación y el desarrollo de plántula.

2.3 Transplante

A los 30 días después de la siembra se inició el transplante del material utilizado en el estudio, en bancales de 39 x 11,7 m; preparados bajo el sistema de fangueo. La unidad experimental utilizada fue de un surco de 5 m de longitud por familia y en cada surco se transplantaron un máximo de 17

plantas. La distancia entre plantas fue de 30 x 30 cm. En el transplante se utilizó una metodología parecida a la empleada en la siembra en las bandejas. Con ayuda de una cuerda guía se marcaban las distancias entre surcos y entre plantas, y luego de identificar el surco, se iban arrancando las plantas una por una de las bandejas siguiendo el orden utilizado en la siembra y se les colocaba en el surco de forma continua hasta llegar a la última posición. Este proceso se repitió para cada familia sembrada.

2.4 Prácticas agronómicas

El manejo agronómico del ensayo una vez transplantado fue igual para los tres bancales. La aplicación de fertilizantes, control de malezas y manejo del agua de riego resultaron ser las labores de mayor importancia, especialmente la aplicación del agua de riego. Con el uso del sistema de arroz bajo inundación se aseguró que el cultivo tuviera suficiente agua durante el ciclo de desarrollo. Las parcelas de arroz no mostraron síntomas que indicaran daños debidos a plagas o enfermedades.

3. Selección y evaluación de la generación F₄.

Cuando las semillas alcanzaron su grado de madurez y estaban

listas para la cosecha, se procedió a seleccionar al azar 3 plantas por familia. Esta selección se efectuó en todas las familias de los seis cruces y sus respectivos progenitores. En esta generación se midieron 10 granos/planta/progenie y progenitor (Figura 4).

El material seleccionado en esta generación fue sometido a una labor de limpieza para eliminar granos vanos y materias extrañas. Luego se dividió la muestra en dos partes, una como material de reserva para guardar en el banco de semillas y la otra para efectuar la evaluación del centro blanco. Con la semilla de la generación F_4 , se empleó la misma técnica utilizada para la semilla de la generación F_3 . Consistió en descascarar los granos de arroz de las muestras, pulirlas y evaluar el centro blanco.

A fin de establecer una relación entre el método empleado en éste estudio para centro blanco y el método utilizado en el laboratorio de calidad de arroz del CIAT, las progenies F_4 de los cruces Colombia 1/IRAT8, IRAT8/Colombia 1 y los dos progenitores fueron evaluados con el segundo método.

El método empleado en el laboratorio de calidad de arroz del CIAT, consiste en tomar una muestra de 3 a 5 gramos de arroz pulido; de los cuales se toman 10 semillas y sobre una base

de fondo negro se evalúan de acuerdo a una escala de cero a cinco ("0" representa grano sin centro blanco y "5" grano completamente manchado).

Cada grano se evalúa individualmente y el promedio de la muestra se obtiene al multiplicar cada uno de los valores de la escala por el número de semillas que resultan de cada categoría. Los resultados de estas mediciones se suman y se dividen entre el número de semillas medidas. El dato final obtenido representa el promedio numérico del centro blanco de la muestra. El total de semillas medidas por generación, cruce, progenitor y familias se detalla en el Cuadro 2.

4. Variables

La medición del centro blanco constituyó la principal variable de interés tomada al material parental y a las progenies en ambas generaciones (F_3 y F_4). Los datos de la relación volumen del centro blanco/volumen del grano, fueron utilizados en el análisis estadístico sobre la presencia, heredabilidad y correlación de lectura del centro blanco.

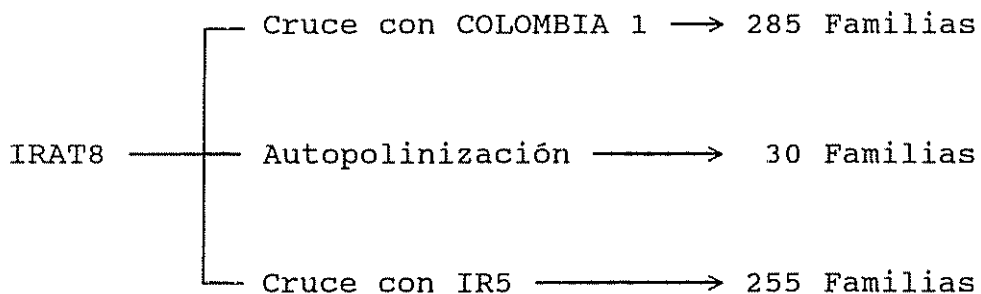
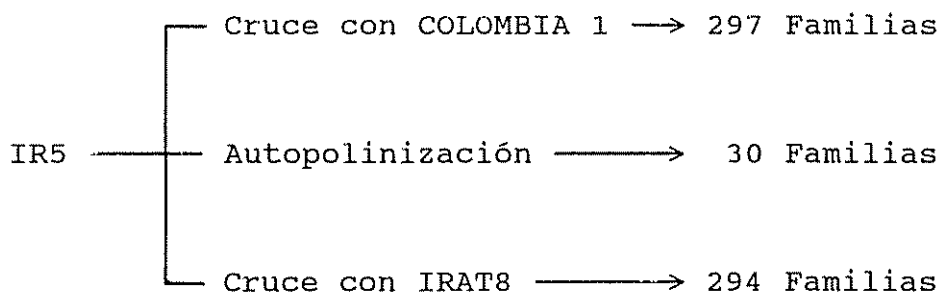
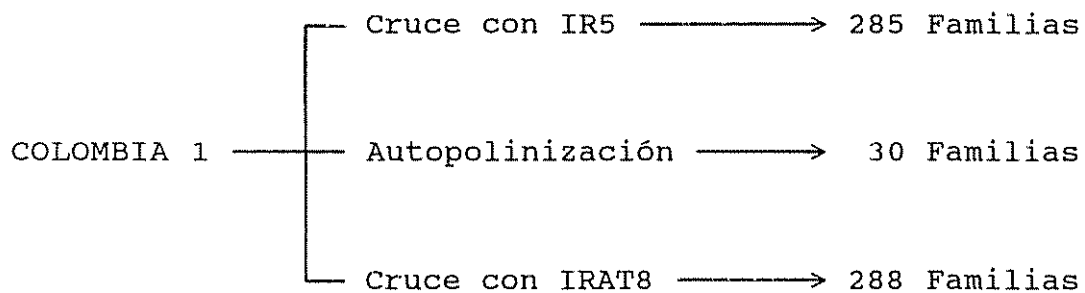


Figura 4. Representación gráfica (generación F_4) de los progenitores, cruce y número de familias involucradas en el estudio del centro blanco. CIAT, 1993.

Cuadro 2. Número de familias y granos por generación, cruces y progenitores medidos en el laboratorio. CIAT, 1993.

Cruce / progenitor	Generación			
	F ₃		F ₄	
	Familia	Grano	Familia	Grano
1 Colombia 1/IR5	95	1900	285	2850
2 Colombia 1/IRAT8	96	1920	288	2880
3 IR5/Colombia 1	99	1920	297	2950
4 IR5/IRAT8	98	1240	294	2940
5 IRAT8/Colombia 1	95	1900	285	2850
6 IRAT8/IR5	93	1860	255	2349
7 Colombia 1	50	1000	30	300
8 IR5	50	1000	30	300
9 IRAT8	50	1000	30	300
Total	726	13740	1794	17719

5. Análisis estadístico

5.1 Evaluación del centro blanco

En el análisis estadístico se empleó la metodología sugerida por la sección de estadística del Programa de Arroz del CIAT (Ramírez, 1993). Esta metodología consistió en utilizar las variables obtenidas del volumen del grano y el volumen del centro blanco para establecer la relación volumen del centro blanco/volumen del grano. Primero se realizó un análisis descriptivo, global y por cruce para las poblaciones segregantes F_3 , F_4 y los progenitores. Se determinó la amplitud de variación, valor mínimo y máximo de la distribución de la población, percentiles, cuartiles, moda, mediana y varianza. Se formaron nueve categorías que contenían a las variables de respuesta, siendo ellas:

Categorías	1	2	3	4	5	6	7	8	9
% centro blanco	0	1-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-40	<40

Luego se efectuó un análisis de frecuencia por cruce y progenitor en cada población, agrupando los datos por categorías, se obtuvo el número de datos en cada grupo conformado por cruce o progenitor. El análisis gráfico de los conteos por rangos o categorías se realizó para todos los

cruces o progenitores.

En el análisis estadístico se empleó la distribución multinomial, donde la medición se registra por la ocurrencia de uno o varios eventos posibles. Así se tiene que la probabilidad para un material de tener un porcentaje de centro blanco es desconocida (P_i), donde ($P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n = 1$). Para obtener una estimación de P_i se requiere contar con una muestra analizada de la población, obtenida de la siguiente manera :

$$P_i = \frac{\text{Número de granos pertenecientes a la categoría } i}{\text{N}^\circ \text{ total de granos medidos}}$$

La probabilidad de respuesta de un evento y la de sus eventos complementarios esta dada por la función:

$$f = \ln g_n (1 - \sum P_i) / \sum P_i$$

donde:

f = es la variable aleatoria que indica la probabilidad de tener un grado de centro blanco menor o igual a un valor determinado

i = las diferentes categorías, definidas en la escala de 1 a 9.

En el análisis de varianza se utilizó el procedimiento

CATMOD, que modela datos categóricos. La tabla de frecuencia registrada sirvió de base para el análisis del " Chi-cuadrado Mínima Modificado".

La tabla de análisis de los cuadrados medios estimados, sirvió para el cálculo de la probabilidades o frecuencias acumuladas mediante la fórmula:

$$Pe = 1 / (1 + e^y)$$

donde:

Pe = Frecuencia acumulada por cruce o progenitor

$$y = U + R_i + C_j + \sum_{ij}$$

siendo

U = Intercepto o media general de la función de respuesta

R_i = Efecto debido a la respuesta

C_j = Efecto debido al cruce ;

\sum_{ij} = Efectos ambientales.

El uso de está función nos permite calcular las probabilidades para cada clase, además permite calcular las frecuencias acumuladas.

El análisis se concluye presentando un gráfico de las probabilidades por población, cruce o progenitor y

categorías.

5.2 Análisis de la heredabilidad

Para el cálculo de la heredabilidad se utilizó las distancias existentes entre dos progenitores como medida de similitud para cuantificar el grado de semejanza de los cruces con respecto a sus progenitores:

$$D_{12} = \sum (P_{1i} - P_{2i})^2$$

donde:

P_1 y P_2 = Son las probabilidades estimadas para cada categoría de respuesta en los progenitores

D_{12} = Es la distancia entre los progenitores, siendo i igual a una categoría.

A continuación se realizaron los cálculos para determinar la distancia existente entre los dos progenitores (individualmente), con relación a los cruces (directo y recíproco):

$$D_{C_{12}} = \sum (P_{1i} - C_{12i})^2 ,$$

$$D_{C_{21}} = \sum (P_{1i} - C_{21i})^2$$

donde:

P_{1i} = Es un progenitor

C_{12} = Es el cruce directo

C_{21} = Es el cruce recíproco

Dc_{12} = Es la distancia entre el progenitor y el cruce directo

Dc_{21} = Es la distancia entre el progenitor y el cruce recíproco

i = Es una categoría

Asociando la distancia cuadrática con el grado de similitud existente entre el progenitor y un cruce, se utilizó la siguiente fórmula para la obtención de la heredabilidad:

$$(1 - Dc_{12} / D_{12}) \times 100 \%$$

La anterior fórmula permitió cuantificar el grado de semejanza existente entre los progenitores con respecto a los cruces donde participaron. Además era necesario conocer hacia cuál progenitor era mayor la semejanza de cada cruce, pudiéndose dar los siguientes casos: dominancia, codominancia y sobredominancia. El uso del Chi-cuadrado nos permitió conocer cual caso se estaba dando en los distintos cruces. Como se necesitaba determinar si la curva estimada para determinado cruce estaba más próxima a un progenitor o al otro, se calculó la distancia del cruce a cada progenitor, siendo la distribución esperada la de los progenitores.

El Chi-cuadrado (X^2) fue calculado con base en la fórmula:

$$\chi^2 = \text{SDCP} = \sum [(C_i - E_i)^2 / E_i]$$

donde:

SDCP = Suma de las distancias del cruce hacia el progenitor, al cuadrado

C_i = Valor de la probabilidad estimada del cruce en la categoría i

E_i = Valor de la probabilidad estimada para el progenitor en la categoría i .

Con los resultados de los cálculos del Chi-cuadrado se obtiene la Fc (F calculada), la cual sirve para probar la siguiente hipótesis:

F calculada es menor que 1
 $F_c < 1$, existe dominancia del progenitor 1

F calculada es mayor que 1
 $F_c > 1$, existe dominancia del progenitor 2

F calculada se aproxima a 1
 $F_c = 1$, existe codominancia

La F calculada se determinó por la siguiente fórmula:

$$F_c = \chi^2 C_1 P_1 / \chi^2 C_2 P_2 = [\sum (C_i - P_{1i})^2 / P_{1i}] / [\sum (C_i - P_{2i})^2 / P_{2i}]$$

La F calculada se distribuye con $i=1$, $i=1$ grados de libertad, en el estudio 8,8 grados de libertad.

Para calcular la heredabilidad se emplearon las siguientes fórmulas:

$$H^2 \text{ (progenitor 1)} = 1 - [\sum (P_{1i} - C_{12i})^2 / \sum (P_{1i} - P_{2i})^2] \times 100 \%$$

$$H^2 \text{ (progenitor 2)} = 1 - [\sum (P_{2i} - C_{12i})^2 / \sum (P_{1i} - P_{2i})^2] \times 100 \%$$

5.3 Análisis de relación entre las lecturas visual e instrumental

Para determinar la relación entre las lecturas visual e instrumental se recurrió a un análisis de correlación y regresión de los datos de ambas lecturas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

1. Respuesta al caracter centro blanco de los progenitores

Al analizar los resultados obtenidos de las evaluaciones realizadas a los progenitores cosechados en el segundo semestre de 1991 y las realizadas al material cosechado en abril de 1992 (Figura 5), puede apreciarse que el progenitor Colombia 1 registró un mayor número de granos sin centro blanco y los granos con opacidad presentaron un bajo porcentaje de centro blanco; IR5 presentó menor cantidad de granos sin centro blanco que Colombia 1 y la mayoría de los granos con opacidad tuvieron un porcentaje entre 5 y 15 % de centro blanco para la siembra de 1991 y entre 5 y 20 % para la siembra de 1992; IRAT8 tuvo la menor cantidad de granos sin centro blanco de los tres progenitores para ambas siembras y concentró la mayoría de los granos opacos entre 5 y 20 % y entre 5 y 25 % de centro blanco para las siembras de 1991 y 1992, respectivamente.

1.1 Centro blanco en Colombia 1

Al observar el comportamiento del progenitor Colombia 1 en ambos semestres, se nota un ligero incremento en la presencia del centro blanco del semestre del 91 respecto al semestre 92

(Figura 5). Observando las frecuencias reportadas para ambos semestres (Cuadros 3 y 4), se aprecia que en Colombia 1 la variación se da en los grados 1 y 2 de centro blanco, donde se concentra la mayoría de los datos evaluados.

El comportamiento de Colombia 1 indica lo estable que se manifiesta este progenitor, respecto a que presenta un alto número de granos sin centro blanco, y el porcentaje de opacidad que registran los granos con centro blanco es bajo (5 %); donde es posible suponer que esta variación se deba a efectos ambientales (Jennings, Coffman, Kauffman 1981).

1.2 Centro blanco en IR5

El progenitor IR5 presentó una mayor presencia de centro blanco en el material cosechado en 1992 (Figura 5). Al observar el Cuadro 3, puede notarse que dentro de los primeros grados del 1 a 4, se concentra la mayor parte de los datos de las evaluaciones realizadas al material cosechado en 1991; mientras que las evaluaciones del material cosechado en 1992 se sitúan en mayor número entre los grados del 1 al 5 (Cuadro 4). Holgin (1993) reportó la variación observada en el progenitor IR5, en relación al centro blanco, entre distintos semestres de siembra.

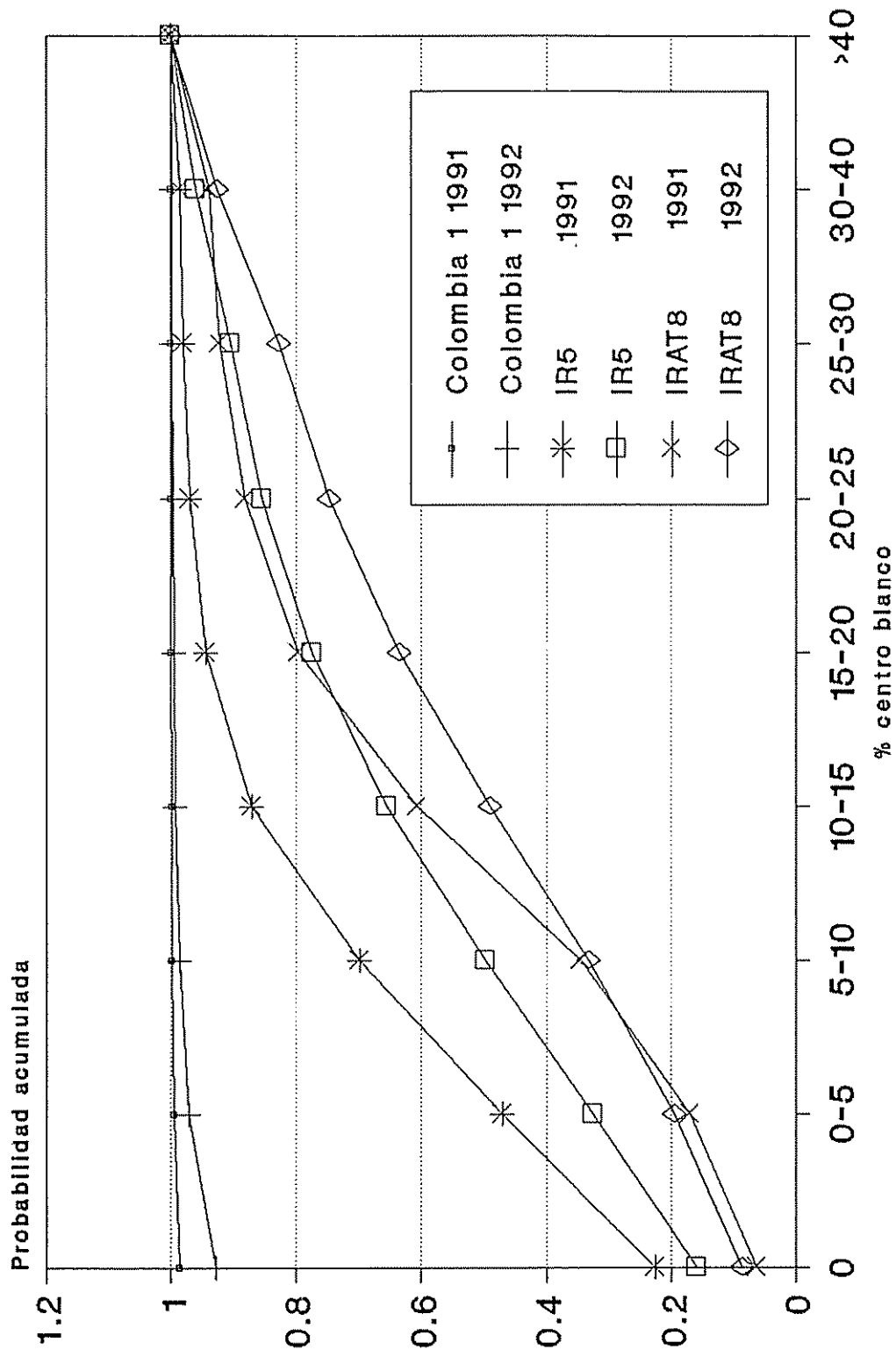


Figura 5. Respuesta al centro blanco de los progenitores. CIAT, 1993.

Cuadro 3 . Frecuencias relativas (en %) reportadas para el centro blanco para las progenies F₃ y progenitores. CIAT, 1993.

Cruce/Progenitor	Grado de centro blanco *								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Colombia 1/IR5	74,7	14,5	5,5	2,7	1,2	0,5	0,3	0,4	0,2
Colombia 1/IRAT8	67,3	21,0	6,5	2,6	1,5	0,6	0,2	0,2	0,1
IR5/Colombia 1	78,3	12,3	4,9	1,8	1,2	0,4	0,7	0,2	0,2
IR5/IRAT8	8,2	16,2	25,7	29,5	12,8	4,4	1,6	0,5	1,1
IRAT8/Colombia 1	64,1	21,3	6,2	4,3	2,1	1,2	0,5	0,3	0
IRAT8/IR5	11,0	14,7	23,4	25,0	14,8	5,5	1,8	1,5	2,3
Colombia 1	99,7	0,3	0	0	0	0	0	0	0
IR5	15,4	25,9	42,2	13,0	1,4	0,6	0,4	0,7	0,4
IRAT8	1,4	2,6	17,9	47,8	24,7	4,0	0,6	0,4	0,6

* Relación entre el grado de centro blanco (GCB) y el porcentaje de centro blanco en el grano (%).

GCB	1	2	3	4	5	6	7	8	9
%	0	1-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-40	>40

Cuadro 4 . Frecuencias relativas (en %) reportadas para el centro blanco para las progenies F₄ y progenitores. CIAT, 1993.

Cruce/Progenitor	Grado de centro blanco *								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Colombia 1/IR5	55,1	16,9	9,3	5,7	3,8	2,5	2,2	2,5	2,0
Colombia 1/IRAT8	48,5	23,6	10,4	5,8	3,6	2,3	1,5	2,6	1,7
IR5/Colombia 1	60,6	16,6	8,7	4,4	2,4	2,2	2,2	1,8	1,1
IR5/IRAT8	7,9	10,1	19,1	21,6	17,7	12,4	3,9	4,3	3,0
IRAT8/Colombia 1	43,4	33,5	9,9	5,1	2,9	2,0	1,5	1,2	0,5
IRAT8/IR5	5,6	11,0	21,3	23,6	18,6	8,3	5,0	4,3	2,3
Colombia 1	95,3	4,0	0,7	0	0	0	0	0	0
IR5	5,7	13,0	31,3	27,3	14,7	3,7	2,0	1,7	0,6
IRAT8	0	0,7	12,3	35,3	30,7	11,0	3,7	4,0	2,3

* Relación entre el grado de centro blanco (GCB) y el porcentaje de centro blanco en el grano (%).

GCB	1	2	3	4	5	6	7	8	9
%	0	1-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-40	>40

1.3 Centro blanco en IRAT8

El progenitor IRAT8 presentó un comportamiento similar al observado en los otros dos progenitores (Figura 5). Este progenitor muestra un ligero incremento de centro blanco para el material cosechado en 1992 con respecto al cosechado en 1991; a excepción de los grados 1 y 2 (0 y 1-5 % de centro blanco). En 1992 el progenitor IRAT8 presentó menor frecuencia de centro blanco en comparación con el material cosechado en 1991 en los mismos grados. En los Cuadros 3 y 4 se puede apreciar que el progenitor IRAT8 presentó una concentración de sus valores para los grados 3 y 5, para ambos períodos evaluados.

El comportamiento mostrado por los progenitores Colombia 1, IR5, IRAT8 durante los dos semestres de siembras resultó bastante similar, aunque hubo aumentos en el número de granos con centro blanco de un semestre al otro. Holgin (1993) informa de variaciones en el número de granos con centro blanco de un semestre a otro para estos mismos progenitores y sugiere que el medio ambiente pudo haber influido en la expresión del centro blanco.

Chang y Somrith (1979); Juliano (1972) manifiestan la influencia que puede tener el medio ambiente sobre la

presencia de la opacidad del grano de arroz. Jennings *et al.* (1981) mencionan como factor importante a la temperatura inmediatamente después de la floración como principal elemento ambiental que influye en la opacidad del grano.

2. Respuesta al caracter centro blanco de los cruces

2.1 Comportamiento de Colombia 1/IR5, IR5/Colombia 1

El comportamiento mostrado por estos dos cruces resultó bastante similar en las generaciones F_3 y F_4 (Figura 6). Los cruzamientos muestran una respuesta intermedia a la obtenida por sus padres con un sesgo hacia el progenitor Colombia 1. Se observa que los cruces siguen la misma tendencia de los progenitores de presentar un número mayor de granos con más porcentaje de centro blanco de una generación a la otra. Así mismo, se tiene que el número de granos con más centro blanco mostrado por ambos cruces se incrementó en la F_4 en relación a la F_3 . Gráficamente se observa una dominancia del progenitor Colombia 1 sobre el progenitor IR5 tanto en la F_3 como en la F_4 . En esta figura se puede apreciar que el cruce Colombia 1/IR5 se mantiene con más granos de menor porcentaje de centro blanco en comparación al cruce IR5/Colombia 1 en ambas generaciones. Estos dos cruces mostraron en la evaluación de la F_2 una mayor influencia del progenitor

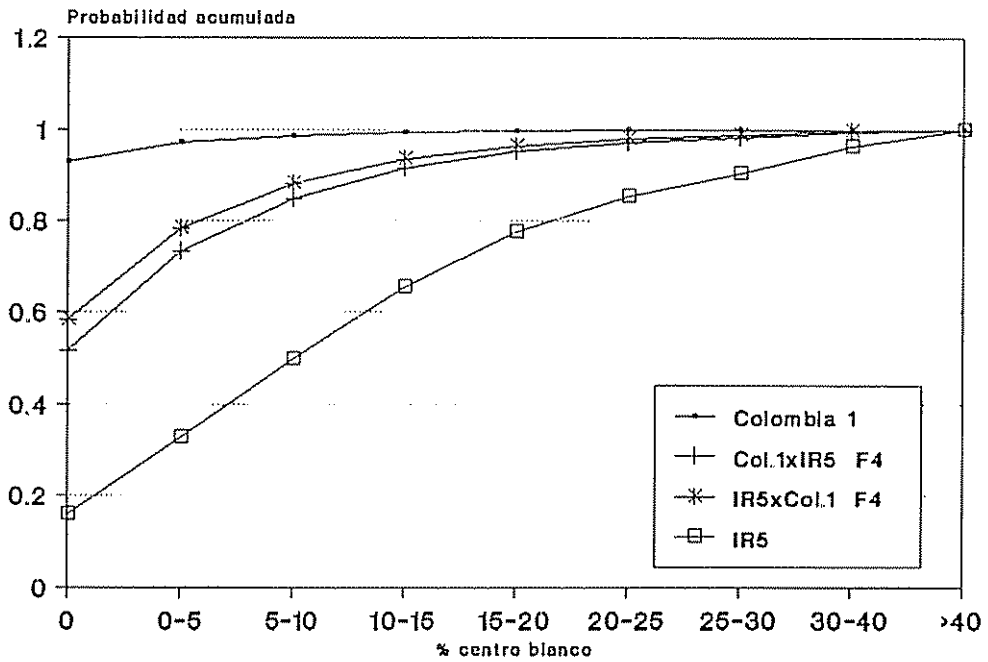
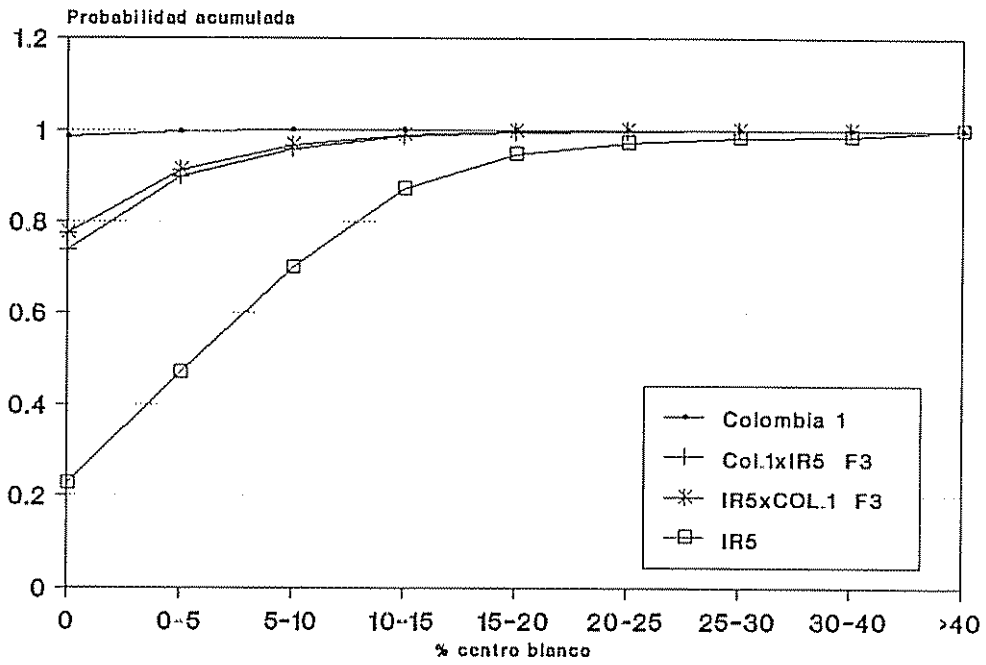


Figura 6. Respuesta al centro blanco de Col.1/IR5, IR5/Col.1. CIAT, 1993.

Colombia 1 (Holguin, 1993), indicando que Colombia 1 presenta un efecto dominante sobre el progenitor IR5 referente a la presencia de centro blanco en las generaciones evaluadas (F_2 , F_3 , F_4).

2.2 Comportamiento de Colombia 1/IRAT8, IRAT8/Colombia 1

Al estudiar estos dos cruces (Figura 7) es notorio observar la influencia que ejerce el progenitor Colombia 1 sobre IRAT8, ya que las progenies resultan con más granos de un menor porcentaje de centro blanco que el progenitor IRAT8; pero menos que el progenitor Colombia 1. Si se observan las curvas de frecuencia acumulada en la generación F_3 , se aprecia que estos dos cruces mostraron un comportamiento muy parecido, resultando el cruce Colombia 1/IRAT8 con más granos con un bajo porcentaje de centro blanco que IRAT8/Colombia 1. En la generación F_4 se mantiene la tendencia observada en otros cruces, de aumentar el número de granos con mayor porcentaje de centro blanco en relación a la generación F_3 . Adicionalmente, se puede apreciar (Figura 7) un comportamiento casi idéntico de los dos cruces en su respuesta a la presencia del centro blanco. La influencia que ejerce el progenitor Colombia 1 sobre el progenitor IRAT8 en la generación F_2 de estos dos cruces fue observado por Holguin (1993).

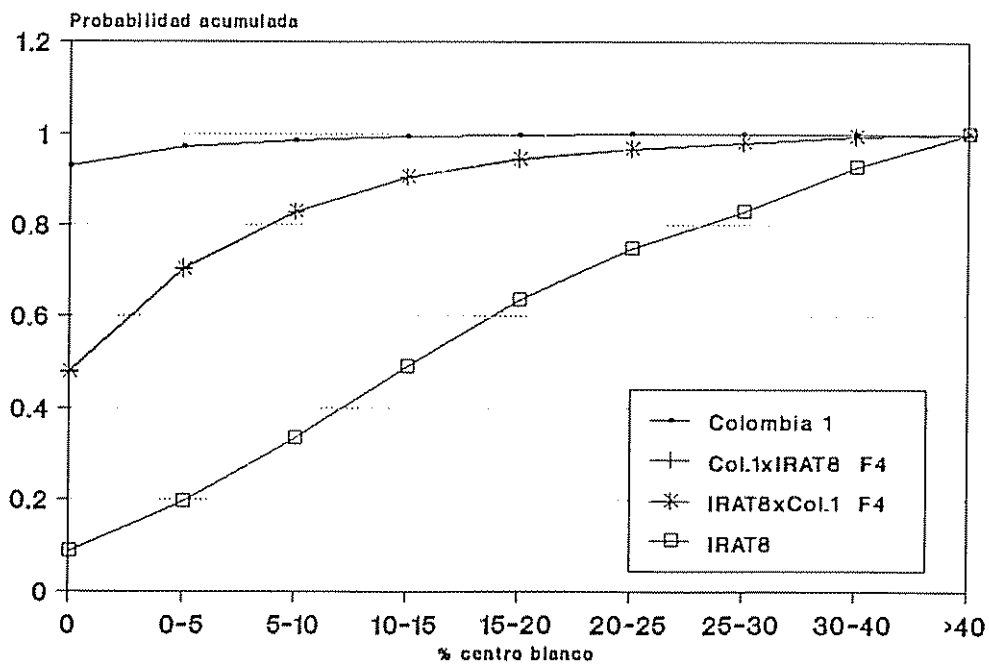
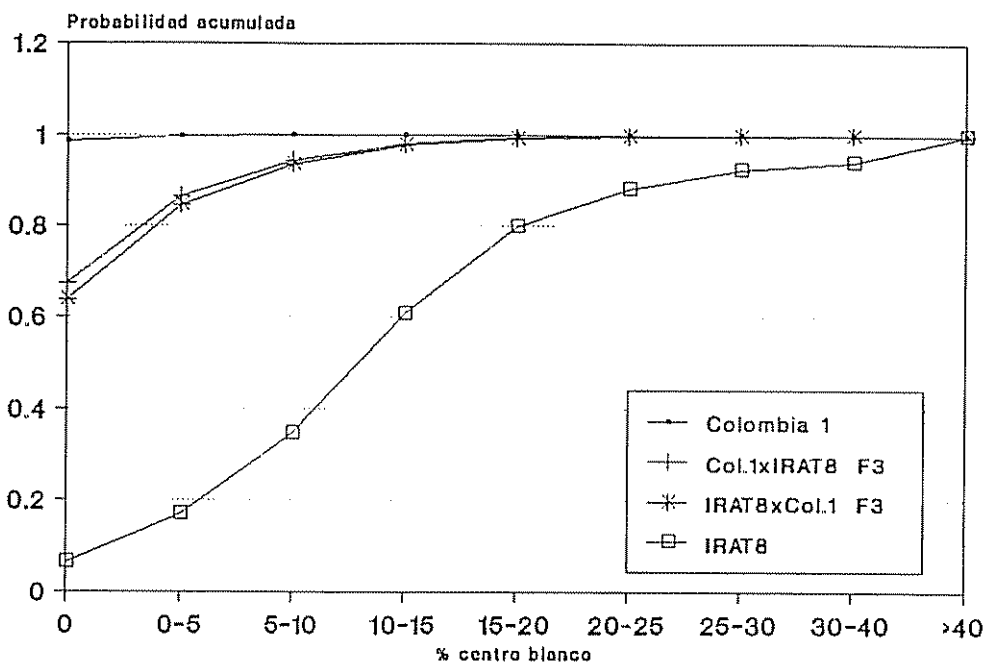


Figura 7. Respuesta al centro blanco de Col.1/IRAT8, IRAT8/Col.1. CIAT, 1993.

2.3 Comportamiento de IR5/IRAT8, IRAT8/IR5

Al analizar los resultados de las evaluaciones del centro blanco de los cruces IR5/IRAT8 , IRAT8/IR5 (Figura 8), se observan respuestas parecidas en las generaciones F_3 y F_4 , donde los dos cruces se manifiestan con frecuencias acumuladas que mantienen cierta similitud de comportamiento a las presentadas por los dos progenitores. En la Figura 8, producto del análisis de los datos de la generación F_3 , se aprecia que ambos cruces casi coinciden en su respuesta y hay una tendencia hacia un dominio por parte de IRAT8. Un comportamiento parecido se registra en la generación F_4 ; aunque en éste caso no podemos afirmar que se observe un dominio de ninguno de los dos progenitores.

Contrario a lo observado en la generación F_3 , Holgin (1993) encontró un dominio del progenitor IR5 sobre el progenitor IRAT8 en la generación F_2 . Estas variaciones entre las generaciones F_2 y F_3 puedan deberse a la influencia del medio ambiente sobre los cruces (Juliano ,1972; Jennings et al. 1981).

Holgin (1993), analizó el comportamiento de los cruces Colombia 1/IR5, Colombia 1/IRAT8, IR5/Colombia 1, IR5/IRAT8, IRAT8/Colombia 1, IRAT8/IR5 en la generación F_1 , y reportó

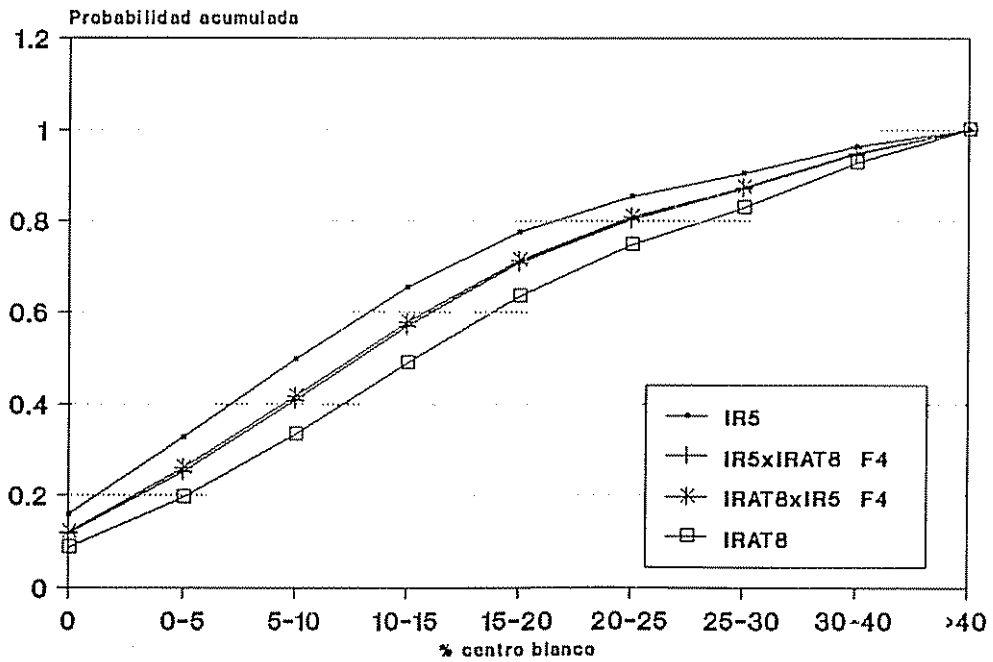
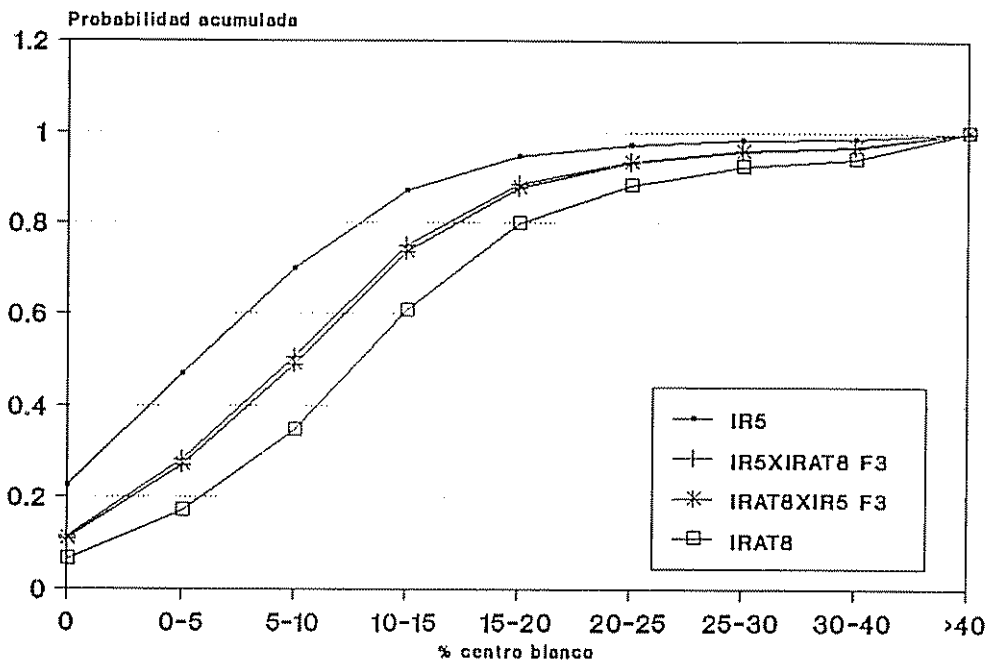


Figura 8. Respuesta al centro blanco de IR5/IRAT8, IRAT8/IR5. CIAT, 1993.

ausencia de centro blanco para todos los cruces. La no presencia de centro blanco en la generación F_1 de los cruces pudo deberse al poco material evaluado, sólo 6 granos por cruce, ya que el tamaño de la muestra afecta el nivel de precisión de la medida del centro blanco (Martínez, 1986).

3. Heredabilidad

3.1 Heredabilidad de los progenitores Colombia 1 e IR5 en los cruces Colombia 1/IR5, y el recíproco.

En las generaciones F_2 , F_3 se pudo observar la influencia preponderante que presentó el progenitor Colombia 1 en los cruces Colombia 1/IR5 y IR5/Colombia 1; mientras que en la generación F_4 , Colombia 1 influyó más en el cruce IR5/Colombia 1 y el progenitor IR5 influyó más en el cruce Colombia 1/IR5 (Cuadro 5).

En el Cuadro 5 se puede apreciar que en los cruces de las generaciones F_2 , F_3 existe dominancia del primer progenitor, Colombia 1 ($F_c < 1$); en la generación F_4 en el cruce Colombia 1/IR5, existe dominancia del segundo progenitor, IR5 ($F > 1$), y en el cruce recíproco IR5/Colombia 1, domina nuevamente el progenitor Colombia 1 ($F_c < 1$). En la generación F_2 se observó en los cruces una mayor heredabilidad de Colombia 1

Cuadro 5. Porcentaje de heredabilidad para centro blanco de los progenitores Colombia 1, IR5 en los cruces Colombia 1/IR5 , IR5/Colombia 1 en las generaciones F₂, F₃, F₄. CIAT, 1993.

Generación	Cruce y Progenitores	Heredabilidad (%)	Fc*
F ₂	Colombia 1/IR5		
	1. Colombia 1	95	0,08
	2. IR5	40	
	IR5/Colombia 1		
1. Colombia 1	85	0,66	
2. IR5	61		
F ₃	Colombia 1/IR5		
	1. Colombia 1	88	0,26
	2. IR5	55	
	IR5/Colombia 1		
1. Colombia 1	91	0,17	
2. IR5	48		
F ₄	Colombia 1/IR5		
	1. Colombia 1	68	1,37
	2. IR5	77	
	IR5/Colombia 1		
1. Colombia 1	78	0,70	
2. IR5	68		

* Fc<1, dominancia del progenitor 1; Fc>1, dominancia del progenitor 2; Fc=1, codominancia.

cuando éste es el progenitor femenino (95 %) que cuando es el progenitor masculino (85 %), caso contrario sucedió en la F_3 de los cruces, donde la mayor heredabilidad de Colombia 1 se presentó en el progenitor masculino (91 %) y menor cuando fue el progenitor femenino (88 %). En el caso del progenitor IR5 mostró igual comportamiento que Colombia 1 en la generación F_2 , mayor heredabilidad en los cruces al participar como progenitor femenino (61 %) y menor cuando estuvo como progenitor masculino (40 %); en la generación F_3 , IR5 manifestó un comportamiento diferente en los cruces con una mayor heredabilidad cuando fue el progenitor masculino (55 %) y menor heredabilidad cuando participó como progenitor femenino (48 %).

Al analizar la generación F_4 se encuentra que en el cruce Colombia 1/IR5 el porcentaje de heredabilidad del progenitor Colombia 1 es baja. En éste cruce se presenta cuando Colombia 1 actuó como progenitor femenino (68 %); mientras que en el cruce IR5/Colombia 1 actuando como progenitor masculino alcanza 78 % de heredabilidad. Por su parte, el progenitor IR5 en la generación F_4 del cruce Colombia 1/IR5, presentó como progenitor masculino un 77 % de heredabilidad y en el cruce recíproco, el progenitor IR5 alcanzó un 68 % de heredabilidad en el cruce.

En resumen, el progenitor Colombia 1 presentó dominancia sobre el progenitor IR5 en los cruces Colombia 1/IR5 y el recíproco en las generaciones segregantes F_2 , F_3 , F_4 en un 83,3 % de los cruces. De esta manera, los cruces mostraron mayor heredabilidad con el progenitor Colombia 1 que con el progenitor IR5. El progenitor Colombia 1 presentó mayor dominancia en los cruces como progenitor masculino que como femenino, para IR5 la dominancia se dio cuando se usó como progenitor masculino.

Aunque de forma irregular, la tendencia de Colombia 1 es a disminuir la heredabilidad en los cruces al avanzar las generaciones segregantes; por el contrario IR5 presentó en forma irregular, una tendencia a incrementar la heredabilidad en los cruces de las generaciones subsiguientes.

3.2 Heredabilidad de los progenitores Colombia 1 e IRAT8 en los cruces Colombia 1/IRAT8, y el recíproco.

El progenitor Colombia 1 presentó mayor influencia en las generaciones segregantes F_2 , F_3 de los cruces Colombia 1/IRAT8, IRAT8/Colombia 1 que el progenitor IRAT8. Por su parte, IRAT8 presentó mayor influencia que Colombia 1 en la generación F_4 de ambos cruces (Cuadro 6). En este Cuadro se puede apreciar la dominancia del primer progenitor, Colombia

Cuadro 6 .Porcentaje de heredabilidad para centro blanco de los progenitores Colombia 1, IRAT8 en los cruces Colombia 1/IRAT8, IRAT8/Colombia 1 en las generaciones F₂, F₃, F₄. CIAT, 1993.

Generación	Cruce y Progenitores	Heredabilidad (%)	Fc*
F ₂	Colombia 1/IRAT8		
	1. Colombia 1	99	0,01
	2. IRAT8	16	
	IRAT8/Colombia 1		
1. Colombia 1	91	0,16	
2. IRAT8	46		
F ₃	Colombia 1/IRAT8		
	1. Colombia 1	86	0,28
	2. IRAT8	52	
	IRAT8/Colombia 1		
1. Colombia 1	83	0,39	
2. IRAT8	57		
F ₄	Colombia 1/IRAT8		
	1. Colombia 1	68	1,20
	2. IRAT8	74	
	IRAT8/Colombia 1		
1. Colombia 1	68	0,70	
2. IRAT8	74		

* Fc<1, dominancia del progenitor 1; Fc>1, dominancia del progenitor 2; Fc=1 codominancia.

1, en los cruces Colombia 1/IRAT8 , IRAT8/Colombia 1 sobre el progenitor IRAT8, en las generaciones segregantes F_2 y F_3 ($F_c < 1$); caso contrario, ocurrió en la generación F_4 donde el segundo progenitor IRAT8, presentó dominancia en ambos cruces sobre Colombia 1.

La heredabilidad del progenitor Colombia 1 en los cruces de la generación F_2 se manifiesta muy alta cuando participa tanto como progenitor femenino o masculino (99 % y 91 % de heredabilidad, respectivamente); mientras que la heredabilidad del progenitor IRAT8 se presenta baja, ya que el progenitor femenino presenta un 46 %, y como masculino un 16 % de heredabilidad. Al estudiar la heredabilidad presente en los cruces mencionados de los progenitores Colombia 1 e IRAT8 en la generación F_3 observamos nuevamente la alta heredabilidad que presentan estos cruces del progenitor Colombia 1 cuando el progenitor es femenino o masculino (86 % y 83 % de heredabilidad, respectivamente). El progenitor IRAT8 aumenta su heredabilidad en los cruces de la generación F_3 , se observa poca diferencia cuando el progenitor es femenino o masculino (52 % y 57 % de heredabilidad, respectivamente).

Contrario a lo ocurrido en las generaciones segregantes F_2 y F_3 , en la generación F_4 ambos cruces presentaron una mayor

heredabilidad del progenitor IRAT8 con una heredabilidad igual tanto para el progenitor femenino como para el progenitor masculino (74 %), igualmente sucedió con el progenitor Colombia 1 con un 68 % de heredabilidad en ambos cruces.

El progenitor Colombia 1 presentó dominancia sobre el progenitor IRAT8 en los cruces Colombia 1/IRAT8 en las generaciones segregantes F_2 , F_3 (66,7 % de los cruces); mientras que IRAT8 mostró dominancia sobre el progenitor Colombia 1 en los mismos dos cruces de la generación F_4 (33,3 % de los cruces).

Los progenitores Colombia 1 como IRAT8 mostraron porcentajes similares de dominancia al ser utilizados como progenitores femeninos y/o masculinos. Se observa una clara tendencia del progenitor Colombia 1 a disminuir progresivamente su heredabilidad en los cruces conforme avanzan las generaciones segregantes; mientras el progenitor IRAT8 tiende a incrementar progresivamente su heredabilidad en los cruces en generaciones sucesivas.

3.3 Heredabilidad de los progenitores IR5 e IRAT8 en los cruces IR5/IRAT8, y el recíproco.

Al estudiar la heredabilidad de los progenitores IR5, IRAT8 en los cruces IR5/IRAT8, IRAT8/IR5 (Cuadro 7), se aprecia la dominancia de IR5 en la generación segregante F_2 , donde $F_c < 1$; en la generación segregante F_3 se observa la dominancia de IRAT8 en ambos cruces ($F_c < 1$); mientras que en la generación segregante F_4 , IRAT8 domina en el cruce IR5/IRAT8, y el progenitor IR5 presenta dominancia en el cruce IRAT8/IR5. En la generación F_4 se observa que las diferencias entre las distintas heredabilidades de los dos progenitores son pequeñas. En el Cuadro 7, se aprecia que en la generación F_2 de los cruces se manifiesta un mayor porcentaje de heredabilidad cuando IR5 es el progenitor femenino (94 %) y el menor porcentaje cuando actúa como el progenitor masculino (83 %), igual caso sucede cuando el progenitor IRAT8 (61 %) actúa como madre que cuando funciona como padre (39 %).

Las generaciones segregantes F_3 de ambos cruces presentan heredabilidades bastante similares, como progenitor femenino (87 %) y como progenitor masculino (81 %). Algo parecido presentó el progenitor IR5 con un 63 % cuando actúo como madre (63 %), mientras que como padre alcanzó 58 %.

Cuadro 7 .Porcentaje de heredabilidad para centro blanco de los progenitores IR5, IRAT8 en los cruces IR5/IRAT8, IRAT8/IR5 en las generaciones F₂, F₃, F₄. CIAT, 1993.

Generación	Cruce y Progenitores	Heredabilidad (%)	Fc*
F ₂	IR5/IRAT8		
	1. IR5	94	0,01
	2. IRAT8	39	
	IRAT8/IR5		
1. IR5	83	0,44	
2. IRAT8	61		
F ₃	IR5/IRAT8		
	1. IR5	63	1,95
	2. IRAT8	81	
	IRAT8/IR5		
1. IR5	58	2,76	
2. IRAT8	85		
F ₄	IR5/IRAT8		
	1. IR5	71	1,31
	2. IRAT8	78	
	IRAT8/IR5		
1. IR5	76	0,90	
2. IRAT8	73		

* Fc<1, dominancia del progenitor 1; Fc>1, dominancia del progenitor 2; Fc=1 codominancia.

El progenitor IRAT8 es dominante en el cruce IR5/IRAT8, en la generación F_4 , como progenitor masculino presenta un 73 % de heredabilidad y como progenitor femenino un 78 % de heredabilidad. IR5 presenta dominancia siendo el progenitor masculino en el cruce IRAT8/IR5, con un 76 % heredabilidad. Cuando es el progenitor femenino presenta un 71 % de heredabilidad.

Al observar los cruces individualmente se puede apreciar que el cruce IR5/IRAT8, el progenitor que presenta dominancia en la generación segregante F_2 es IR5; luego en la generación F_3 , el progenitor dominante es IRAT8 y, por último, en la generación F_4 es nuevamente IRAT8 el progenitor dominante. Para el cruce IRAT8/IR5, en la generación segregante F_2 el progenitor con dominancia es IR5, en la generación F_3 el progenitor dominante es IRAT8 y en la generación F_4 IR5 es el progenitor dominante.

Al observar las heredabilidades de los cruces IR5/IRAT8, IRAT8/IR5 en las generaciones segregantes F_2 , F_3 , F_4 obtenidas de los progenitores IR5, IRAT8 se aprecia que no existió una total dominancia de un progenitor sobre otro. En la F_4 , ambos progenitores mostraron dominancia en el cruce, cuando fueron el progenitor masculino.

La tendencia del progenitor IR5 fue la de disminuir la heredabilidad presente en los cruces en las generaciones F_2 , F_3 para luego aumentarla en la generación F_4 . Por el contrario, el progenitor IRAT8 aumentó la heredabilidad presente en los cruces en las generaciones F_2 , F_3 para disminuirla en la generación F_4 .

Los progenitores Colombia 1, IR5, IRAT8 mostraron un comportamiento irregular con respecto a la heredabilidad del centro blanco en los distintos cruces y a través de las generaciones segregantes F_2 , F_3 , F_4 . Existen discrepancias entre las opiniones que se han formulado sobre la heredabilidad del caracter centro blanco con base en los resultados encontrados por diferentes investigadores. Sobre la heredabilidad del centro blanco Srivantaneeyakul (1988) manifestó que ésta es baja y los factores ambientales ejercen gran influencia. Qi et al. (1983) reportó el valor de la heredabilidad promedio en sentido amplio en un 76,5 %. En este estudio se observó una alta heredabilidad del progenitor Colombia 1 en los cruces, aunque esta fue disminuyendo al ir avanzando las generaciones. Colombia 1 mostró una alta heredabilidad en los cruces donde era el progenitor femenino; lo anterior concuerda con lo observado por Kuo y Liu (1986).

4.Relación entre las lecturas visual e instrumental del centro blanco

4.1 Análisis en conjunto de cruces y progenitores

El análisis de correlación de las lecturas visual e instrumental del centro blanco, donde se incluyen los cruces y progenitores como un grupo, mostró un coeficiente de correlación de 0,90; lo cual indica una fuerte asociación entre los dos métodos.

4.2 Análisis del progenitor Colombia 1

El coeficiente de correlación de las lecturas visual e instrumental del progenitor Colombia 1 fue de 0,50 y la probabilidad de error al rechazar la hipótesis de no correlación ($H_0 : P = 0$) es de 0,0046. El análisis de correlación muestra que sólo un 25,3 % de la variación de la lectura instrumental es asociada con la lectura visual.

En la Figura 9 se presenta la correlación entre las lecturas visual (grados) e instrumental (%) del progenitor Colombia 1, en él se puede apreciar los bajos valores ($< 2 \%$ y $< 0,2$ grados de centro blanco) para ambas lecturas que se reportan en Colombia 1. Colombia 1 es un progenitor sin centro

blanco; sin embargo esto no significa que no se encuentren granos con algo de centro blanco, ya que son los que interfieren o afectan la lectura visual. Estos bajos valores de centro blanco pueden estar influyendo en el coeficiente de correlación obtenido.

4.3 Análisis del progenitor IRAT8

Para IRAT8 el análisis de correlación dio un coeficiente de correlación de 0,56 y la probabilidad de error es de 0,0014. La lectura visual se encontró relacionada en un 31,0 % con la lectura instrumental, según el análisis de regresión.

En el caso del progenitor IRAT8 (Figura 10), se observa que a pesar del bajo coeficiente de correlación (0,56), existe gran afinidad con los valores reportados de centro blanco para IRAT8 (> 2,8 grados), que representa entre un 15 y 20 % de centro blanco.

4.4 Análisis del cruce Colombia 1/IRAT8

Las lecturas visual e instrumental del centro blanco para el cruce Colombia 1/IRAT8 mostró un coeficiente de correlación de 0,87; donde la probabilidad de que no exista correlación fue de 0,0001, con lo que se rechaza la hipótesis nula (H_0 :

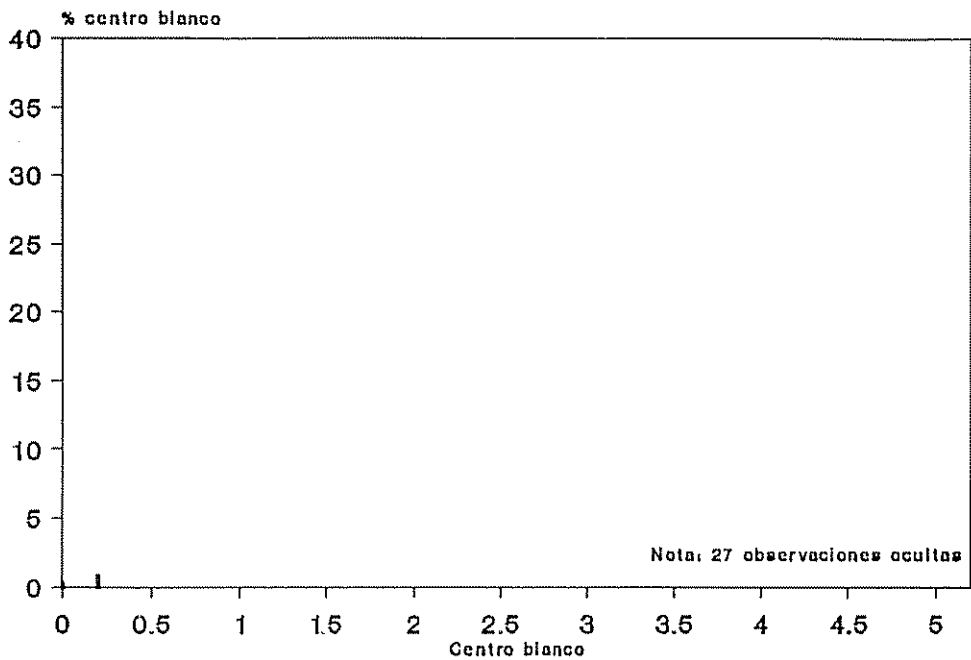


Figura 9. Correlación entre la lectura visual (grados) y la instrumental (%) del centro blanco del progenitor Colombia 1. CIAT, 1993.

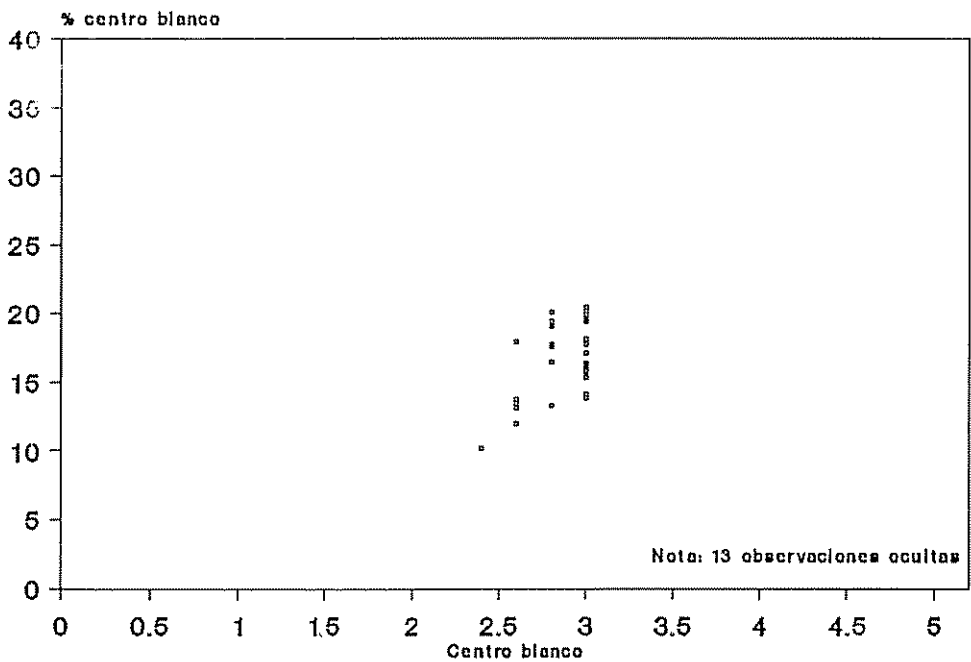


Figura 10. Correlación entre la lectura visual (grados) y la instrumental (%) del centro blanco del progenitor IRAT8. CIAT, 1993.

$P=0$) y se concluye que la probabilidad de que exista correlación entre las lecturas visual e instrumental del cruce Colombia 1/IRAT8 es altamente significativa. El modelo explica en un 75,8 % la relación entre la lectura visual e instrumental del centro blanco (Figura 11).

4.5 Análisis del cruce IRAT8/Colombia 1

El coeficiente de correlación (Figura 12) de las lecturas visual e instrumental para el cruce IRAT8/Colombia 1 fue de 0,88, mostrando un alta relación entre ambas lecturas para el caracter centro blanco del cruce. La probabilidad de que no exista correlación de 0,0001, resultando altamente significativa. El modelo explica en un 78,4 % la relación entre las lecturas visual e instrumental.

La comparación entre la lectura usual y la realizada con instrumentos ópticos para centro blanco no siempre resultó significativa; mientras que la evaluación visual ignora en gran parte las opacidades pequeñas; la instrumental por su parte estima toda la opacidad presente en el grano (IRRI, 1984).

Los coeficientes de correlación obtenidos entre las lecturas visual e instrumental para centro blanco de los cruces

Colombia 1/IRAT8, y el recíproco indican que el método visual empleado en el laboratorio de calidad de arroz es efectivo y confiable. Considerando que el laboratorio evalúa gran cantidad de material genético experimental, es poco aconsejable pensar en utilizar el método instrumental.

La correlación de ambos cruces presenta muestras mal evaluadas visualmente ($> 3,5$ grados); las cuales para tener éste valor deben presentar más del 40 % del grano de arroz con centro blanco. Como valores aceptables para cuantificar el centro blanco se consideran aquellos que se encuentran entre 0,7 y 1,2 grados de centro blanco ($0,7 < \text{aceptable} < 1,2$); el grano excelente en centro blanco es aquel que tiene menos de 0,7 grados de centro blanco (excelente $< 0,7$), por lo anterior arroces con más de 1,2 grados de centro blanco, generalmente son descartados (Martínez, 1986).

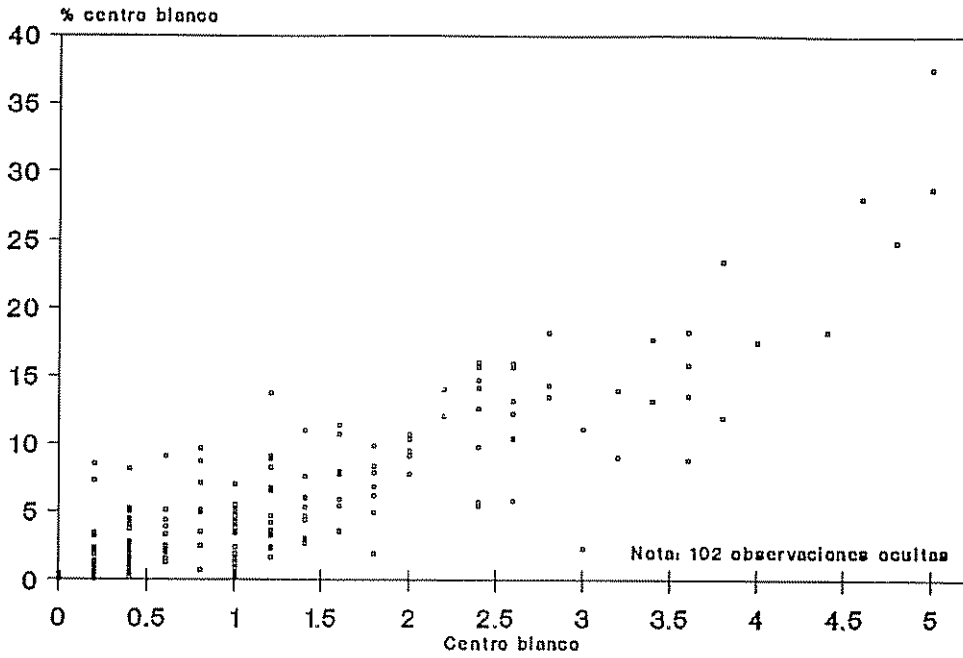


Figura 11. Correlación entre la lectura visual (grados) y la instrumental (%) del centro blanco del cruce Colombia 1/IRAT8. CIAT, 1993.

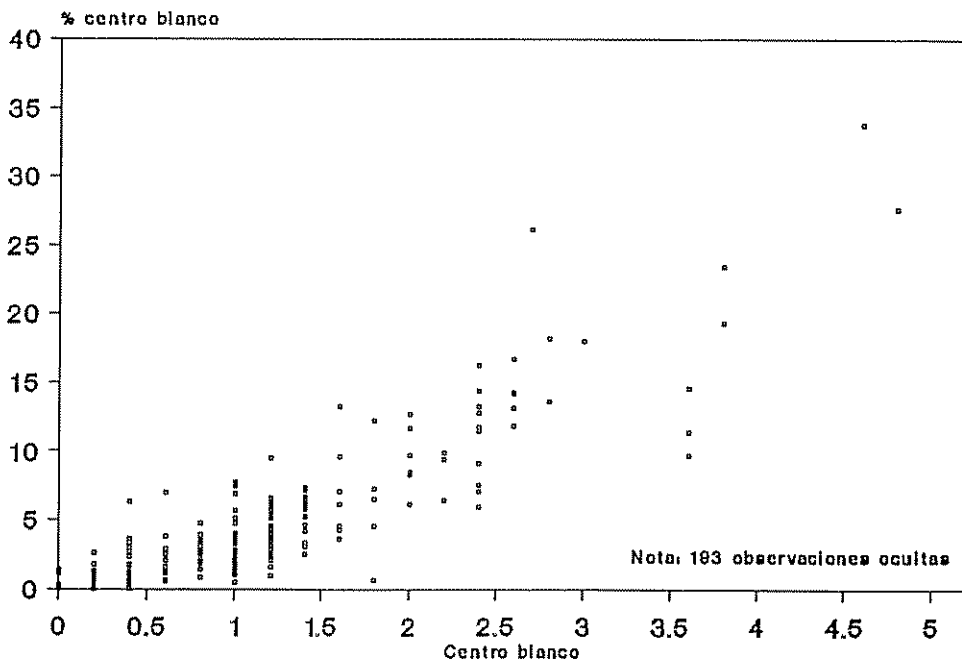


Figura 12. Correlación entre la lectura visual (grados) y la instrumental (%) del centro blanco del cruce IRAT8/Colombia 1. CIAT, 1993.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- _ Como resultado de las evaluaciones de los progenitores en ambos semestres se concluye, que Colombia 1 mostró menos centro blanco, seguido por IR5 e IRAT8.

- _ Los progenitores Colombia 1, IR5, IRAT8 presentaron variación entre épocas de siembra para el caracter centro blanco.

- _ Los cruzamientos siempre mostraron valores intermedios a los obtenidos por sus padres para el caracter centro blanco.

- _ El progenitor Colombia 1 mostró dominancia sobre el progenitor IR5 en los cruces Colombia 1/IR5, y el recíproco, en las generaciones F_2 , F_3 , F_4 ; excepto el cruce Colombia 1/IR5 en la generación F_4 ; donde la dominancia fue del progenitor IR5.

- _ El progenitor Colombia 1 tuvo dominancia sobre el progenitor IRAT8 en los cruces Colombia 1/IRAT8, y el recíproco, en las generaciones F_2 , F_3 ; excepto en la generación F_4 donde IRAT8 mostró dominancia en ambos cruces.

— En los cruces IR5/IRAT8, y el recíproco, la dominancia total estuvo ausente por parte de los progenitores; mientras IR5 tuvo dominancia en la generación F_2 en ambos cruces; IRAT8 lo hizo en la F_3 , y en la F_4 cada progenitor tuvo dominancia solamente en uno de los cruces efectuados.

— El progenitor Colombia 1 mostró una tendencia a disminuir el porcentaje de heredabilidad a medida que avanzaron las generaciones, en los cruces donde participó.

— El progenitor IR5 en los cruces con Colombia 1 e IRAT8, mostró un comportamiento poco definido en el porcentaje de heredabilidad presente en los cruces a través de las generaciones.

— El progenitor IRAT8 presentó un incremento en el porcentaje de heredabilidad en los cruces que participó, y fue muy notorio conforme avanzaron las generaciones.

— Para todos los cruces efectuados ningún progenitor mostró efectos maternos; con esto se facilita el proceso de cruzamiento en ambas direcciones.

— Se recomienda continuar con el estudio de éstos cruces a fin de observar el comportamiento de los cruces en generaciones subsiguientes respecto al caracter centro blanco en el grano de arroz.

— Es concluyente y recomendable que la lectura visual empleada en el laboratorio de calidad del CIAT cumple con los objetivos del programa de mejoramiento de arroz y es apropiado seguir utilizando dicha lectura para las evaluaciones de centro blanco en las líneas experimentales de arroz.

VI. LITERATURA CITADA

- BECHTEL, O.B.; POMERANZ, Y. 1978. Implications of the rice kernel structure in storage, marketing and processing: a review. *Journal of Food Science* (EE.UU.) 43:1538-1542.
- _____.; POMERANZ, Y. 1980. The rice kernel. *Advances in Cereal Science and Technology* (EE.UU.) 3:73-113.
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. 1985. Informe anual. Cali, Col. 101 p.
- _____. 1987. Annual Report: Rice Program. Cali, Col. p. 61-75.
- _____. 1989. Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz; guía de estudio. Cali, Col. 75 p.
- CHANG, T.T.; SOMRITH, B. 1979. Genetic studies on the grain quality of rice. *In Workshop on Chemical Aspects of Rice Grain Quality* (1979, Los Baños, Filipinas). *Proceedings*. Los Baños, Filipinas, IRRI. p. 49-58.
- CLEMENT, G.; POISSON, C. 1984. Etude de L'heredite de la translucidite chez cinq varietese riz (*Oryza sativa* L.). Applications pratiques en selection. *Agronomie Tropicale* (Francia) 39(33):243-251.
- DE DATTA, S.K. 1986. Producción de arroz: fundamentos y prácticas. México, D.F., Méx., Limusa. 690 p.
- EBATA, M.; TASHIRO, T. 1973. Studies on White-Belly Rice Kernel. I. Varietal differences in the occurrence of white-belly kernel. *Proceedings of the Crop Science Society of Japan* 42(3):370-376.

GUO, E.; PAN, Z.; WANG, S.L.; LU, S.H. 1982. Studies on inheritance of white belly kernel of keng rice (*Oryza sativa* subsp. keng). The Jiangsu Academy of Agricultural Sciences (China). no. 6. 611 p.

_____.; PAN, Z.; WANG, S.L.; LU, S.H. 1983. Studies on white belly grain of Japonica rice. Acta Agronomica Sinica (China) 9(1):31-38.

HOLGUIN, J.E. 1993. Influencia del citoplasma sobre la heredabilidad del centro blanco y temperatura de gelatinización en arroz (*Oryza sativa* L.). Tesis Mag. Sc. Palmira, Col., Universidad Nacional de Colombia. 105 p.

INOCENCIO, E.; CASTILLO, D.; SANCHEZ, S.; CASTILLO, D. DEL. 1984. Fertilización nitrogenada y calidad del grano de la variedad IR1529 (*Oryza sativa* L.). Ciencia y Técnica en la Agricultura, Arroz (Cuba) 7(1):33-52.

Consultado en Rice Abstracts. 1986. 9(6):272.

INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. 1976. Annual Report for 1975. Los Baños, Filipinas. 479 p.

_____. 1985. Annual Report for 1984. Los Baños, Filipinas. 504 p.

JENNINGS, P.R.; COFFMAN, W.R.; KAUFFMAN, H.E. 1981. Mejoramiento de arroz. Cali, Col., CIAT. 237 p.

JIN, Q.S.; QUI, B.Q. 1988. Optical determination of rice grain chalkiness (Clk). International Rice Research Newsletter (Filipinas). 13(2):8.

JULIANO, B.O. 1972. The rice caryopsis and its composition. In Rice chemistry and technology. St. Paul, Minn., EE.UU., American Association of Cereal Chemists. p. 16-74.

KHUSH, G.S.; PAULE, C.M.; CRUZ, N.M. DE LA. 1979. Rice grain quality evaluation and improvement at IRRI. In Workshop on Chemical Aspects of Rice Grain Quality (1979, Los Baños, Filipinas). Proceedings. Los Baños, Filipinas, IRRI. p. 21-31.

KUMAR, I.; KHUSH, G.S.; JULIANO, B.O. 1987. Genetic analysis of waxy locus in rice (*Oryza sativa* L.). Theoretical and Applied Genetics (Alemania) 73(4):481-488.

Consultado en Rice Abstracts. 1987. 10(4):159.

KUO, Y.C.; LIU, C. 1986. Inheritance of chalkiness of rice endosperm. Journal of Agricultural Research of China (China) 35(2):129-138.

Consultado en Rice Abstracts. 1987. 10(1):1.

LIN, T.F. 1989. Genetical studies on waxy and white belly characteristic in rice. Bulletin of Taichung District Agricultural Improvement Station (China) no. 23:31-37.

Consultado en Rice Abstracts. 1991. 14(6):319.

LIU, T.M. 1983. A comparative study of grain shape and quality of rice kernels in japonica and indica rice varieties. Journal of the Agricultural Association of China (China) no. 125:23-30.

Consultado en Rice Abstracts. 1986. 9(2):60.

_____. 1985. Studies on the occurrence of white-belly grains in different rice varieties. Journal of the Agricultural Association of China (China) no. 130:16-23.

Consultado en Rice Abstracts. 1986. 9(1):8.

- _____. 1986a. The location of the spikelet on the panicle in relation to the occurrence of white-belly rice. *Journal of the Agricultural Association of China (China)* no. 134:64-70.
- Consultado en Rice Abstracts. 1987. 10(2):84.
- _____. 1986b. Studies on the kernel weight, shape and white-belly of rice grown in irrigated and dry fields. *Journal of the Agricultural Association of China (China)* no. 134:59-63.
- Consultado en Rice Abstracts. 1987. 10(2):62.
- MARTINEZ, C. P. 1986. Metodologías para evaluar la calidad del arroz: algunas modificaciones. *Arroz en las Américas. Boletín informativo del Programa de Arroz del CIAT (Col.)* 7(1):4-8.
- PEREZ, C.M.; JULIANO, B.O.; DE DATTA, S.K.; AMARANTE, S.T. 1990. Effects of nitrogen fertilizer treatment and source and season on grain quality of IR64 rice. *Plant Foods for Human Nutrition (Filipinas)* 40(2):123-130.
- Consultado en Rice Abstracts. 1991. 14(3):133.
- QI, Z.B.; LI, B.J.; YANG, W.G.; WU, X.F. 1983. Genetical study of the external quality and oil content of rice grains. *Acta Genetica Sinica (China)* 10(6):452-458.
- RAMIREZ, H.F. 1993. Análisis estadístico. Cali, Col. CIAT. (Comunicación personal).
- SEOK, S.W.; HAYAKAWA, T. 1980. Studies on the Characters of the Improved Semi-Dwarf, High-Yielding Indica Rice Varieties. VI. Shape of opaque part of white belly kernels and difference in the development of starch granules on dorsal and ventral sides in developing kernels in the variety making many white belly kernels "Chosaeng Tongil". *Japan Journal Crop Science (Japón)* 49(2):191-198.

- SRIVANTANEEYAKUL, S. 1988. Breeding behavior of some grain quality characteristics in crosses with the deepwater rice RD19. Thesis Mag. Sc. s.l., Tailandia, Kasetsart University. s.p.
- TAKITA, T. 1987. Relationship between grain width and occurrence of white belly and white core, as a factor responsible for slender grain shape of indica rice. Japan Agricultural Research Quarterly (Japón) 20(3):223-224.
- TANAKA, K.; YOSHIDA, T.; KASAI, Z. 1974. Distribution of mineral elements in the outer layer of rice and wheat grains, using electron microprobe x-ray analysis. Soil Science and Plant Nutrition (Japón) 20:87-91.
- TASHIRO, T.; EBATA, M. 1976. Studies on white-belly rice kernel. V. On the occurrence of white belly during the development of rice kernel, with special reference to the moisture content of kernel. Proceedings of the Crop Science Society of Japan (Japón) 45(4):616-623.
- _____.; EBATA, M.; ISHIKAWA, M. 1980. Studies on White-Belly Rice Kernel. VII. The most vulnerable stages of kernel development for the occurrence of white belly. Japan Journal Crop Science (Japón) 49(3):482-488.
- WANG, D. 1988. A study for increasing chalkless grain percentage in rice by hulled seed selection. Ningxia Journal of Agro-Forestry Science and Technology (China) no. 5:7-9.
- Consultado en Rice Abstracts. 1989. 12(4):180.
- YANG, R.C.; WANG, N.Y.; LIANG, K.J.; CHEN, Q.H. 1985. Genetic analysis of some traits in two crosses of rice. Journal of Fujian Agricultural College (China) 14(2):109-115.
- Consultado en Rice Abstracts. 1987. 10(1):1.

_____.; LIANG, K.J.; CHEN, Q.H. 1986. Xenia for chalkiness in rice and the genetic analysis of chalkiness in hybrid rice. Journal of Fujian Agricultural College (China) 15(1):51-54.

Consultado en Rice Abstracts. 1987. 10(2):54.

YUM-BI, X.; ZONG, T.S. 1988. Maternal effect on chalkiness in rice kernels. China Rice Genetics Newsletter (China) 5: s.p.

VII. APENDICE

Anexo 1. Datos metereológicos registrados en el Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, Palmira, Colombia, durante el período de estudio (octubre de 1992 a abril de 1993).

FECHA	TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	RADIACION SOLAR (MJ/m ²)	PRECIPITACION (mm)	HUMEDAD RELATIVA %
Oct/92	23,7	16,2	73,2	72,0
Nov/92	23,1	16,0	107,7	75,0
Dic/92	23,4	18,9	52,7	75,0
Ene/93	23,3	16,1	46,3	74,0
Feb/93	23,5	16,6	71,2	73,0
Mar/93	23,1	16,0	118,6	76,0
Abr/93	23,5	15,8	114,0	77,0
\bar{X}	23,4	16,5		74,6
TOTAL			583,7	