

**EVOLUCION DEL CRECIMIENTO, RENDIMIENTO DE GRANO Y PARTICION
DE FOTOSINTATOS EN 14 VARIEDADES DE ARROZ REPRESENTANTES
DE DIVERSOS CICLOS DE MEJORAMIENTO EN COLOMBIA**

JAVIER FERNANDO OSORIO SARA VIA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE PALMIRA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE POSGRADOS
SEDE PALMIRA
2007**

**EVOLUCION DEL CRECIMIENTO, RENDIMIENTO DE GRANO Y PARTICION
DE FOTOSINTATOS EN 14 VARIEDADES DE ARROZ REPRESENTANTES
DE DIVERSOS CICLOS DE MEJORAMIENTO EN COLOMBIA**

JAVIER FERNANDO OSORIO SARA VIA

**Trabajo de tesis presentado para optar al título de Magíster en Ciencias
Agrarias con énfasis en Fitomejoramiento**

**Directores: FRANCO ALIRIO VALLEJO CABRERA,
I.A., Ph.D., U.N.**

**DIOSDADO BAENA GARCÍA, I.A., Ph.D.,
U.N.**

ALBERT JEAN FISHER, I.A. Ph.D., CIAT.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE PALMIRA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE POSGRADOS
SEDE PALMIRA
2007**

**La Facultad y los Jurados de tesis no serán responsables de las ideas
emitidas por el autor de la misma**

**(Artículo 24, Resolución 04 de 1974 del Consejo Directivo Universidad
Nacional de Colombia)**

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Palmira, 13 de julio de 2007.

DEDICATORIA

A Dios, el creador de todo lo que nos rodea y del milagro de la vida.

A mis padres, Lilia y José Francisco, quienes han dado todo de sí para que sus hijos salgan adelante y sean personas de bien.

A Laura Sofía y Vanesa, los motores e inspiración de mi vida.

A todos mis hermanos, Juan Carlos, Claudia Patricia, Francisco Augusto, Fabián Miguel, María Constanza, Diego Luis y Andrés, quienes estuvieron ahí cerca de mí apoyándome y alentándome a conseguir esta meta.

A todos mis profesores de la Maestría, especialmente a los Drs. Franco Alirio Vallejo, Diosdado Baena, Edgar Iván Estrada y Mario Augusto García, quienes siempre me apoyaron y motivaron para alcanzar esta meta.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus más sinceros agradecimientos a las siguientes personas:

Albert J. Fischer, I.A., Ph. D. Jefe del programa de Fisiología de arroz (CIAT), por su acertada planeación y dirección en la etapa de campo del trabajo.

A los profesores Franco Alirio Vallejo Cabrera, I.A., Ph. D. y Diosdado Baena García, I.A., Ph. D. Profesores de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, por la invaluable colaboración en la fase final del trabajo.

A los profesores Sara Mejía de Tafur, I.A., Ph. D. y Edgar Ivan Estrada Salazar, I.A. M. Sc. Profesores de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, por sus importantes observaciones.

A los Ingenieros Héctor V. Ramírez, I.A. M. Sc. y Jaime Lozano F., I.A. M. Sc., Investigadores asociados del programa de fisiología de arroz (CIAT), por el valioso apoyo prestado.

Al personal de los programas de Fisiología de arroz y Utilización de yuca del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	1
1. OBJETIVOS	2
1.1 OBJETIVO GENERAL	2
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	2
2. EVOLUCIÓN DEL CRECIMIENTO EN 14 VARIEDADES DE ARROZ (<i>Oryza sativa</i> L.) REPRESENTANTES DE DIVERSOS CICLOS DE MEJORAMIENTO EN COLOMBIA	3
2.1 COMPENDIO	3
2.2 ABSTRACT	3
2.3 INTRODUCCIÓN	4
2.4 MARCO TEORICO	5
2.4.1 Medida del crecimiento.	5
2.4.2 Cinética del crecimiento.	5
2.4.3 Análisis de crecimiento.	6
2.4.4 Modelo matemático de la curva de crecimiento.	7
2.4.5 Área Foliar.	7
2.4.6 Materia seca	8
2.4.7 Índices de crecimiento.	8
2.4.7.1 Tasa de Crecimiento Relativo (TCR).	8

	Pág.
2.4.7.2 Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC).	8
2.4.7.3 Tasa de Asimilación Neta (TAN).	9
2.4.7.4 Relación del Área Foliar (RAF).	9
2.4.7.5 Índice de Área Foliar (IAF).	9
2.4.7.6 Índice de Cosecha (IC).	10
2.4.7.7 Correlaciones entre los índices de crecimiento.	11
2.5 MATERIALES Y METODOS	11
2.5.1 Localización y duración.	11
2.5.2 Variedades de arroz.	12
2.5.3 Métodos.	12
2.5.4 Muestreos.	13
2.5.5 Análisis de crecimiento.	13
2.5.6 Diseño Experimental.	15
2.5.7 Análisis Estadístico.	15
2.6 RESULTADOS Y DISCUSION	15
2.7 AGRADECIMIENTOS	43
2.8 BIBLIOGRAFIA	43
3. EVOLUCION DEL RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES EN 14 VARIETADES DE ARROZ (<i>Oryza sativa</i> L.) REPRESENTANTES DE DIVERSOS CICLOS DE DE MEJORAMIENTO EN COLOMBIA	46
3.1 COMPENDIO	46

	Pág.
3.2 ABSTRACT	46
3.3 INTRODUCCION	47
3.4 MARCO TEORICO	48
3.4.1 Nuevo tipo de planta propuesto por el IRRI.	49
3.4.2 Nuevas estrategias para aumentar el potencial de rendimiento.	50
3.4.3 Stay green (hojas siempre verdes).	51
3.5 MATERIALES Y METODOS	52
3.5.1 Localización y duración.	52
3.5.2 Variedades de arroz.	53
3.5.3 Métodos	53
3.5.4 Muestreos	53
3.5.5 Diseño Experimental	54
3.5.6 Análisis Estadístico.	54
3.6 RESULTADOS Y DISCUSION	54
3.7 AGRADECIMIENTOS	68
3.8 BIBLIOGRAFIA	68
4. EVOLUCIÓN DE LA PARTICION DE CARBOHIDRATOS Y MOVILIZACION DEL NITROGENO EN 14 VARIEDADES DE ARROZ REPRESENTANTES DE DIVERSOS CICLOS DE MEJORAMIENTO EN COLOMBIA.	72
4.1 COMPENDIO	72

	Pág.
4.2 ABSTRACT	72
4.3 INTRODUCCION	73
4.4 MARCO TEORICO	73
4.4.1 Acumulación de carbohidratos	73
4.5 MATERIALES Y METODOS	75
4.5.1 Localización y duración.	75
4.5.2 Variedades de arroz.	75
4.5.3 Métodos.	76
4.5.3.1 Muestreos.	76
4.5.3.2 Diseño experimental.	77
4.5.3.3 Análisis estadístico.	77
4.6 RESULTADOS Y DISCUSION	77
4.7 AGRADECIMIENTOS	91
4.8 BIBLIOGRAFIA	91

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 2.1. Valores promedios de las variables climatológicas durante el ensayo. CIAT, Palmira (Valle).	11
Cuadro 2.2. Variedades de arroz utilizadas en el ensayo. (CIAT, 2006; IRRI, 2006).	12

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Curva sigmoide del crecimiento (acumulación de materia seca) a través del tiempo.	6
Figura 2.2 Curvas de crecimiento para las variedades de arroz introducidas, según los Modelos de Richards: $Y=a/(1+e^{b-ct})^{1/d}$, Gompertz: $Y = ae^{-e^{b-ct}}$ y Logístico: $Y=a/1+be^{-ct}$. CIAT, Palmira (Valle).	17
Figura 2.3. Curvas de crecimiento para las variedades de arroz del grupo de las CICA's, según los Modelos de Richards: $Y=a/(1+e^{b-ct})^{1/d}$, Gompertz: $Y = ae^{-e^{b-ct}}$ y Logístico: $Y=a/1+be^{-ct}$. CIAT, Palmira (Valle).	18
Figura 2.4. Curvas de crecimiento para las variedades de arroz del grupo de las Oryzica's y la línea 2, según los Modelos de Richards: $Y=a/(1+e^{b-ct})^{1/d}$, Gompertz: $Y = ae^{-e^{b-ct}}$ y Logístico: $Y=a/1+be^{-ct}$. CIAT, Palmira (Valle).	19
Figura 2.5. Curvas de crecimiento para las variedades de arroz liberadas para los Llanos Orientales, según los Modelos de Richards: $Y=a/(1+e^{b-ct})^{1/d}$, Gompertz: $Y = ae^{-e^{b-ct}}$ y Logístico: $Y=a/1+be^{-ct}$. CIAT, Palmira (Valle).	20
Figura 2.6. Distribución a través del tiempo de la materia seca por tejido en las variedades de arroz introducidas. CIAT, Palmira (Valle).	22
Figura 2.7. Distribución a través del tiempo de la materia seca por tejido en las variedades de arroz del grupo de las CICA's. CIAT, Palmira (Valle).	23
Figura 2.8. Distribución a través del tiempo de la materia seca por tejido en las variedades de arroz del grupo de las ORYZICA's y la Línea 2. CIAT, Palmira (Valle).	24
Figura 2.9. Distribución a través del tiempo de la materia seca por tejido en las variedades de arroz liberadas para los Llanos Orientales. CIAT, Palmira (Valle).	25
Figura 2.10. Variación a través del tiempo de la relación del tejido muerto y el peso seco total para los cuatro grupos de variedades de arroz (Introducciones, Cica's, liberadas para los Llanos Orientales y Oryzica's). CIAT, Palmira (Valle)	27

	Pág
Figura 2.11. Variación a través del tiempo de la relación del tejido vivo (hojas) y el peso seco total para los cuatro grupos de variedades de arroz (Introducciones, Cica's, liberadas para los Llanos Orientales y Oryzica's). CIAT, Palmira (Valle).	28
Figura 2.12. Tasa de Crecimiento Relativo (TCR) para los cuatro grupos de variedades de arroz (Introducciones, Cica's, liberadas para los Llanos Orientales y Oryzica's). CIAT, Palmira (Valle).	30
Figura 2.13. Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC) para los cuatro grupos de variedades de arroz (Introducciones, Cica's, liberadas para los Llanos Orientales y Oryzica's). CIAT, Palmira (Valle).	32
Figura 2.14. Tasa de Asimilación Neta (TAN) para los cuatro grupos de variedades de arroz (Introducciones, Cica's, liberadas para los Llanos Orientales y Oryzica's). CIAT, Palmira (Valle)	33
Figura 2.15. Relación de Área Foliar (RAF) para los cuatro grupos de variedades de arroz (Introducciones, Cica's, liberadas para los Llanos Orientales y Oryzica's). CIAT, Palmira (Valle).	35
Figura 2.16. Duración del Área Foliar (DUAF) para los cuatro grupos de variedades de arroz (Introducciones, Cica's, liberadas para los Llanos Orientales y Oryzica's). CIAT, Palmira (Valle).	36
Figura 2.17. Índice de Área Foliar (IAF) para para los cuatro grupos de variedades de arroz (Introducciones, Cica's, liberadas para los Llanos Orientales y Oryzica's). CIAT, Palmira (Valle).	38
Figura 2.18. Variación a través del tiempo del No. de tallos/planta para los cuatro grupos de variedades de arroz (Introducciones, Cica's, liberadas para los Llanos Orientales y Oryzica's). CIAT, Palmira (Valle)	39
Figura 2.19. Variación a través del tiempo del No. de tallos/m ² para los cuatro grupos de variedades de arroz (Introducciones, Cica's, liberadas para los Llanos Orientales y Oryzica's). CIAT, Palmira (Valle).	40
Figura 2.20. Variación a través del tiempo de la altura de planta (cms) para los cuatro grupos de variedades de arroz (Introducciones, Cica's, liberadas para los Llanos Orientales y Oryzica's). CIAT, Palmira (Valle).	42

	Pág.
Figura 3.1. Rendimiento promedio de grano (kg/ha) de 14 variedades de arroz en dos semestres. CIAT, Palmira (Valle).	55
Figura 3.2. Tendencias en el rendimiento de grano (kg/ha) de 14 variedades de arroz liberadas en Colombia. CIAT, Palmira (Valle).	56
Figura 3.3. Producción promedio de paja (kg/ha) de 14 variedades de arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) en dos semestres. CIAT, Palmira (Valle).	57
Figura 3.4. Relación grano/paja de 14 variedades de arroz en dos semestres. CIAT, Palmira (Valle).	58
Figura 3.5. Relación grano/peso seco total de 14 variedades de arroz en dos semestres. CIAT, Palmira (Valle).	59
Figura 3.6. Índice de Cosecha (IC) de 14 variedades de arroz en dos semestres. CIAT, Palmira (Valle).	60
Figura 3.7. Longitud promedio de la panícula (cms) de 14 variedades de arroz en dos semestres. CIAT, Palmira (Valle).	61
Figura 3.8. Peso promedio de 1000 semillas (g) de 14 variedades de arroz en dos semestres. CIAT, Palmira (Valle).	62
Figura 3.9. Número promedio de granos/panícula de 14 variedades de arroz en dos semestres. CIAT, Palmira (Valle).	63
Figura 3.10. Número promedio de granos llenos/panícula de 14 variedades de arroz en dos semestres. CIAT, Palmira (Valle).	64
Figura 3.11. Número promedio de granos vanos/panícula de 14 variedades de arroz en dos semestres. CIAT, Palmira (Valle).	64
Figura 3.12. Vaneamiento promedio (%) de 14 variedades de arroz en dos semestres. CIAT, Palmira (Valle).	65
Figura 3.13. Número promedio de panículas/planta de 14 variedades de arroz en dos semestres. CIAT, Palmira (Valle).	66
Figura 3.14. Número promedio de panículas/m ² de 14 variedades de arroz en dos semestres. CIAT, Palmira (Valle).	67

	Pág
Figura 3.15. Días a floración y duración del llenado de grano para las 14 variedades de arroz. CIAT, Palmira (Valle).	69
Figura 3.16. Variación a través del tiempo del peso de la panícula (g) desde la floración hasta 30 días después de ésta para las 14 variedades de arroz. CIAT, Palmira (Valle).	70
Figura 4.1. Distribución del Contenido de carbohidratos totales (%) en las diferentes partes de la planta de la variedad Blue Bonnet 50. CIAT, Palmira (Valle).	79
Figura 4.2. Distribución del Contenido de carbohidratos totales (%) en las diferentes partes de la planta para el grupo de las variedades Introducidas, excepto IR 8. CIAT, Palmira (Valle).	80
Figura 4.3. Distribución del Contenido de carbohidratos totales (%) en las diferentes partes de la planta para la variedad Cica 8. CIAT, Palmira (Valle).	81
Figura 4.4. Distribución del Contenido de carbohidratos totales (%) en las diferentes partes de la planta para el grupo de variedades Cica's, excepto Cica 8. CIAT, Palmira (Valle).	82
Figura 4.5. Distribución del Contenido de carbohidratos totales (%) en las diferentes partes de la planta para el grupo de variedades Oryzica's. CIAT, Palmira (Valle).	83
Figura 4.6. Distribución del Contenido de carbohidratos totales (%) en las diferentes partes de la planta para el grupo de variedades liberadas para los Llanos Orientales. CIAT, Palmira (Valle).	84
Figura 4.7. Contribución (%) de los carbohidratos acumulados en floración a los carbohidratos del grano en plantas normales y mutiladas en las 14 variedades en el semestre B. CIAT, Palmira (Valle).	85
Figura 4.8. Distribución del Contenido de nitrógeno (%) a través del tiempo para el grupo de las variedades introducidas. CIAT, Palmira (Valle).	87
Figura 4.9. Distribución del Contenido de nitrógeno (%) a través del tiempo para el grupo de las variedades Cica's. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Palmira (Valle).	88
Figura 4.10. Distribución del Contenido de nitrógeno (%) a través del tiempo para el grupo de las variedades Oryzica's y la Línea 2. CIAT, Palmira (Valle).	89

Figura 4.11. Distribución del Contenido de nitrógeno (%) a través del tiempo para el grupo de las variedades liberadas para los Llanos Orientales. CIAT, Palmira (Valle).

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Procedimiento para determinar el contenido de azúcares en tejido vegetal (Laboratorio de Utilización de Yuca del Centro Internacional de Agricultura Tropical).	107
Anexo B. Procedimiento para determinar enzimáticamente el contenido de almidón en tejido vegetal (Laboratorio de Utilización de Yuca del Centro Internacional de Agricultura Tropical).	109
ANEXO C. Análisis de varianza para 9 variables de crecimiento y de rendimiento en 14 variedades de arroz Colombianas representantes de diversos ciclos de mejoramiento.	111

RESUMEN

Durante los últimos años, el cultivo del arroz de riego en Colombia ha alcanzado un “techo” aparente en el rendimiento, siendo interesante la búsqueda de características fisiológicas asociadas al rendimiento, que permitan seleccionar genotipos con mayor eficiencia fisiológica. En el CIAT, bajo condiciones ambientales de semestres diferentes, se llevaron a cabo dos ensayos de campo con el objetivo de analizar la variación de las características fisiológicas y de tipo de planta a través del proceso de selección y su posible relación con incrementos de rendimiento.

Los ensayos se establecieron bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Las características evaluadas fueron acumulación de materia seca, eficiencia fotosintética, contenido de carbohidratos y nitrógeno, duración del área foliar y rendimiento de grano con sus componentes. Se realizaron análisis de varianza, prueba diferencia de medias según Tukey y análisis de correlación; para las curvas de crecimiento se buscó el modelo de mayor ajuste.

Se comprobó el crecimiento mínimo del rendimiento de grano a través de los ciclos de selección debido principalmente a la estrecha base genética de las variedades colombianas y las posibilidades fisiológicas para superar esta barrera están relacionadas con el mejoramiento de las limitaciones en la relación fuente-vertedero (mayor duración del follaje fotosintéticamente activo y mayor tamaño de las panículas). Igualmente, se observaron diferencias en el análisis del crecimiento, senescencia, distribución de carbohidratos en la planta y movilización del nitrógeno de las hojas superiores entre las 14 variedades colombianas.

Palabras Claves: *Oryza sativa* L., análisis de crecimiento, rendimiento de grano, partición de fotosintatos, movilización de nitrógeno.

ABSTRACT

During the past few years, the crop of the rice of irrigation in Colombia has reached a “plateau apparent” in the yield, being interesting the search of physiological characteristics associated to the yield, that allow to select genotypes with greater physiological efficiency. In the CIAT, under environmental conditions of different semesters, two trial of field with the objective to analyze the variation of the physiological characteristics and of type of plant through process of selection and its possible relation with increases of yield were carried out.

The trials settled down at random under an experimental design of complete blocks at random with four repetitions. The evaluated characteristics were accumulation of dry matter, photosynthetic efficiency, content of carbohydrates and nitrogen, duration of the area to foliar and grain yield with their components. Variance analyses were made, proves difference of average according to Tukey and analysis of correlation; for the growth curves the model of greater adjustment looked for.

The minimum growth of the grain yield was verified mainly through the cycles of selection due to the narrow genetic base of the Colombian varieties and the physiological possibilities to surpass this barrier are related to the improvement of the limitations in the relation source-sink (greater duration of the photosynthetically active foliage and greater size of panicles). Also differences in the analysis of the growth, senescency, distribution of carbohydrates in the plant and mobilization of the nitrogen of the superior leaves inter Colombian varieties.

Key Words: *Oryza sativa* L., growth analysis, grain yield, carbohydrate partitioning, nitrogen mobilization.

INTRODUCCION

Durante los últimos veinte años, el cultivo del arroz irrigado a través de los diversos ciclos de mejoramiento, ha alcanzado un "techo" aparente en el rendimiento cada vez más difícil de superar. Se hacen necesarios estudios sobre características fisiológicas y de tipo de planta con potencial para aumentar y mantener los rendimientos, tales como la partición de carbohidratos y de nitrógeno, observando su variación a través del proceso de selección y su posible relación con incrementos de rendimiento.

El potencial de rendimiento es el resultado de la interacción de una serie de características que hacen que una variedad sea rendidora. En mejoramiento de arroz se busca elevada capacidad de macollamiento, tolerancia al vuelco, hojas erectas de color verde oscuro, ciclo intermedio, senescencia tardía, panículas de tamaño adecuado, grano pesado y poca esterilidad". (FLAR, 2006).

La obtención de plantas con un alto índice de cosecha, uno de los objetivos de la revolución verde, parece haber provocado reducción en el crecimiento vegetativo pero un aumento en la eficiencia fisiológica del follaje (p. ej. plantas fotosintéticamente más activas). Es necesario verificar si continúa este tipo de tendencias, o si es posible incrementar aún más esa eficiencia, y si esto es de esperar que se asocie con incrementos de rendimiento.

En un programa de mejoramiento, el análisis de crecimiento permite determinar las diferencias genéticas en la capacidad de producción de los genotipos y utilizar los diferentes índices de crecimiento como criterios de selección. La información generada en este tipo de trabajos, representa el primer paso hacia la identificación de los parámetros fisiológicos y de crecimiento asociados con incrementos de rendimiento. Se generará una base de datos (caracterización de germoplasma), que podrá emplearse en un futuro en el análisis de sensibilidad con modelos de simulación de arroz (p. ej. L₃QT, CERES), con el fin de detectar oportunidades para futuros incrementos del rendimiento potencial. Estos ejercicios servirán como validación de dichos modelos.

Los datos de este experimento se confrontaron con reportes de literatura, sirviendo esto para identificar las características fisiológicas que deben reforzarse en el germoplasma de arroz. De esta forma, se pueden establecer pautas para la incorporación de nuevo germoplasma en el proceso de expansión de la base genética del germoplasma de arroz.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Comprobar la existencia de un "estancamiento" o aumento mínimo de los rendimientos de las nuevas variedades de arroz en los últimos años e identificar los parámetros de crecimiento y fisiológicos, asociados a este comportamiento.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar y cuantificar los cambios en las características fisiológicas y de tipo de planta, operados a través del proceso de mejoramiento genético y que se asocien con incrementos en el rendimiento potencial del arroz de riego.

Describir en cada una de las variedades la partición de materia seca y de nitrógeno, así como su movilización hacia el grano (especialmente de floración a madurez), procesos considerados relevantes para futuros incrementos de rendimiento, así como aspectos de senescencia y duración de la maduración.

Cuantificar la proporción de biomasa destinada al llenado de grano que finalmente se traduce en rendimiento.

2. EVOLUCION DEL CRECIMIENTO EN 14 VARIEDADES DE ARROZ (*Oryza sativa* L.) REPRESENTANTES DE DIVERSOS CICLOS DE MEJORAMIENTO EN COLOMBIA¹

JAVIER FERNANDO OSORIO SARAVIA²

2.1 COMPENDIO

En el CIAT, bajo condiciones ambientales de semestres diferentes, se llevaron a cabo dos ensayos de campo con el objetivo de analizar la variación de las características fisiológicas relacionadas con el crecimiento y del tipo de planta a través del proceso de selección y su posible relación con incrementos de rendimiento. Los ensayos se establecieron bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Las características evaluadas fueron acumulación de materia seca, eficiencia fotosintética y duración del área foliar. Se realizaron análisis de varianza, prueba diferencia de medias según Tukey y para las curvas de crecimiento se buscó el modelo de mayor ajuste. Se observaron diferencias en el análisis del crecimiento y senescencia entre las variedades evaluadas; así como diferencias debidas a las condiciones ambientales.

Palabras Claves: *Oryza sativa* L., materia seca, análisis de crecimiento, eficiencia fotosintética, senescencia.

2.2 ABSTRACT

In the CIAT, under environmental conditions of different semesters, two trial of field with the objective to analyze the variation of the physiological characteristics relationed with the growth and of type of plant through process of selection and its possible relation with increases of yield were carried out. The trials settled down at random under an experimental design

¹ Investigación de tesis presentada como requisito parcial para optar al título de Maestría.

² Estudiante de Maestría en Ciencias Agrarias con énfasis en Fitomejoramiento. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. jfosorio@ut.edu.co.

of complete blocks at random with four repetitions. The evaluated characteristics were accumulation of dry matter, photosynthetic efficiency and duration of the area to foliar. Variance analyses were made, proves difference of average according to Tukey and for the growth curves the model of greater adjustment looked for. Differences in the in the analysis of the growth and senescency, were observed; as well as differences due to the environmental conditions.

Key Words: *Oryza sativa* L., dry matter, growth analysis, photosynthetic efficiency, senescency.

2.3 INTRODUCCION

Durante los últimos veinte años, el cultivo del arroz irrigado a través de los diversos ciclos de mejoramiento, ha alcanzado un “techo” aparente en el rendimiento cada vez más difícil de superar. Se hacen necesarios estudios sobre características fisiológicas y de tipo de planta con potencial para aumentar y mantener los rendimientos, observando su variación a través del proceso de selección y su posible relación con incrementos de rendimiento.

La obtención de plantas con un alto índice de cosecha, uno de los objetivos de la revolución verde, parece haber provocado reducción en el crecimiento vegetativo pero un aumento en la eficiencia fisiológica del follaje (p. ej. plantas fotosintéticamente más activas). Es necesario verificar si continúa este tipo de tendencias, o si es posible incrementar aún más esa eficiencia, y si esto es de esperar que se asocie con incrementos de rendimiento.

En un programa de mejoramiento, el análisis de crecimiento permite determinar las diferencias genéticas en la capacidad de producción de los genotipos y utilizar los diferentes índices de crecimiento como criterios de selección. La información generada en este tipo de trabajos, representa el primer paso hacia la identificación de los parámetros fisiológicos y de crecimiento asociados con incrementos de rendimiento. Se generará una base de datos (caracterización de germoplasma), que podrá emplearse en un futuro en el análisis de sensibilidad con modelos de simulación de arroz (p. ej. L₃QT, CERES), con el fin de detectar oportunidades para futuros incrementos del rendimiento potencial. Estos ejercicios servirán como validación de dichos modelos.

Como objetivo principal se planteó el identificar y cuantificar los cambios en las características fisiológicas y de tipo de planta, operados a través del

proceso de mejoramiento genético y que se asocien con incrementos en el rendimiento potencial del arroz de riego.

2.4 MARCO TEORICO

De acuerdo con Muñoz, Baena y Bruzón (1990), el crecimiento constituye un aumento irreversible del tamaño de la planta, asociado generalmente con un incremento del peso seco y una expresión cada vez más compleja del organismo denominada diferenciación. Igualmente, consideran al desarrollo como el aspecto más general, conformado por dos procesos individuales: el crecimiento y la diferenciación. Se reserva el término de crecimiento para los aspectos cuantitativos del desarrollo y la diferenciación a los cualitativos del mismo.

2.4.1 Medida del crecimiento. La medición del crecimiento puede efectuarse en variables tales como aumento de peso seco, peso fresco, volumen, longitud, etc., a intervalos sucesivos de tiempo durante el período de desarrollo (Torres de la Noval, 1984).

2.4.2 Cinética del crecimiento. De acuerdo con Malaver (1973), la cinética del crecimiento obedece a tres factores principales:

- a. Al tamaño de la planta, pues en cuanto mayor sea el número de células en división y alargamiento, mayor será el crecimiento en la etapa inicial.
- b. A la relación entre el tamaño actual y el estado final de la planta que puede alcanzar según la especie. Esta relación, expresa en parte la edad fisiológica de las células, es decir, que cuanto más jóvenes o meristemáticas sean, más rápida será su multiplicación. Por esto, aunque la planta adulta tenga muchas células el crecimiento es lento, debido a que hay muy poca división celular.
- c. A constantes de crecimiento que difieren para cada especie.

Según Jorgensen y Malaver (1968), el crecimiento de un individuo o un grupo de individuos dentro de una población puede representarse gráficamente en función del tiempo, como una curva sigmoidea, con dos asíntotas y un punto de inflexión (momento en que finaliza la autoaceleración y empieza la autoinhibición, es decir el punto donde la

curva cambia de velocidad). En la sigmoide, se distingue claramente tres fases:

- a. **Fase de crecimiento retardado.** Caracterizada por la disminución en peso seco inmediatamente después de la germinación, a causa del agotamiento de las reservas nutritivas del grano.
- b. **Fase logarítmica o exponencial.** A partir de la asíntota inferior, la tendencia es ascendente predominando la fuerza aceleratriz resultante del incremento de peso debido a la multiplicación celular (hiperplasia), a su aumento de tamaño (hipertrofia) y a la acumulación de materia seca.
- c. **Fase de senectud o vejez.** Determinado por la asíntota superior, a partir de la cual el crecimiento aumenta a un ritmo muy lento hasta acercarse a cero, ocasionando una disminución del peso en la parte final de la fase, debido principalmente a pérdidas por respiración y alguna pequeña parte por translocación de fotosintatos desde los tallos y hojas hasta el grano.

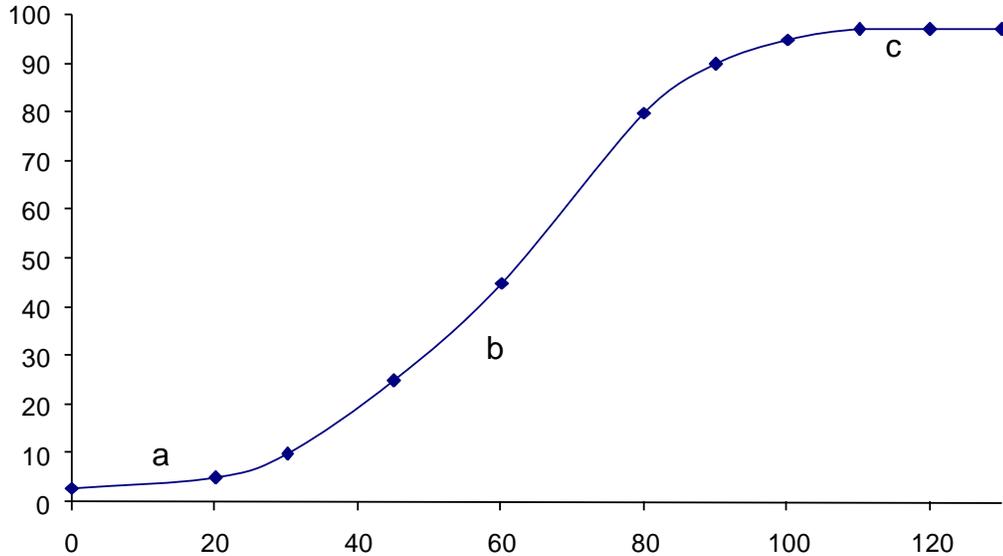


Figura 2.1. Curva sigmoide del crecimiento (acumulación de materia seca) a través del tiempo.

2.4.3 Análisis de crecimiento. De acuerdo con Hunt (1978 y 1982), el análisis de crecimiento es una aproximación cuantitativa para entender el

desarrollo de una planta o de una población de plantas bajo condiciones ambientales naturales o controladas. Según Went (1957), el análisis de crecimiento se refiere al análisis matemático de la variación, en tamaño o peso del material acumulado por la planta o sus partes separadamente y a parámetros relativos a las dimensiones de sus órganos asimiladores, como es el caso del área foliar.

Para realizar un análisis de la productividad de una planta en función de su crecimiento, se requieren dos condiciones: la medida del material vegetal existente y del sistema asimilador de ese material vegetal, en intervalos sucesivos de tiempo. En la práctica las variables más comúnmente empleadas para estas dos determinaciones son el peso seco y el área foliar, respectivamente. Estos datos expresados en función del tiempo y con el método de regresión, permiten hallar ecuaciones que relacionen estas variables, las cuales una vez derivadas se utilizan para calcular los índices de crecimiento (Radford, 1967; Torres de la Noval, 1984).

2.4.4 Modelo matemático de la curva de crecimiento. Se han propuesto diversos modelos para describir y predecir el crecimiento, según las etapas de desarrollo de la planta. De acuerdo con Hunt (1982), en décadas pasadas se presentaron diversas propuestas de análisis de crecimiento, entre las que se destacan dos aproximaciones, la clásica y la funcional. La principal diferencia entre las dos, es que la funcional requiere de curvas ajustadas. La aproximación clásica incluye más cosechas (con muchas repeticiones de medidas) pero poco frecuentes, mientras que la aproximación funcional requiere de pocas cosechas pero más frecuentes, para ajustar las curvas.

Según Hunt (1982), se han propuesto funciones polinomiales y asintóticas para analizar el crecimiento. Las que ofrecen una mejor interpretación biológica, son las asintóticas, entre las que se destacan las funciones monomolecular (exponencial negativa), logística, Gompertz y Richards. Los modelos matemáticos propuestos para estas últimas tres funciones aparecen a continuación:

Logístico	Gompertz	Richards
$Y = \frac{a}{1 + be^{-ct}}$	$Y = ae^{-e^{b-ct}}$	$Y = \frac{a}{(1 + e^{b-ct})^{1/d}}$

Donde:

- a = Representa el peso promedio a la madurez de la planta
- e = Es la base de los logaritmos naturales
- b, c y d = Son parámetros que indican que tan rápidamente crece la función
- t = Tiempo que dura el proceso

Según Jaramillo (1986), el más importante es el modelo logístico, también conocido como curva de Verhulst-Pearl, y ha sido utilizado para muchos fines, entre ellos, para estudiar la dinámica de crecimiento en plantas, tejidos y meristemas. En la función logística, podemos diferenciar claramente dos aspectos, cuando $t = 0$, $Y = a/(1+b)$, y cuando “t” tiende a infinito, $Y = a$ (fase de estabilización en el crecimiento) (Rincón, 1988).

2.4.5 Área Foliar. Para Solórzano (1976), la determinación del área foliar además de que es una medida necesaria para el cómputo de la tasa de asimilación de las plantas, es también una variable de gran importancia cuando se realiza el análisis de crecimiento de un cultivo. En arroz, se mide solamente el área de la lámina foliar debido a que la fotosíntesis de vainas y tallos, es insignificante. El área foliar se puede expresar de la siguiente forma:

$$AF = K \times L \times A$$

Donde:

- AF= Área Foliar (cm²)
- K= Constante (oscila entre 0.67 – 0.80)
- L= Largo de la hoja (cm)
- A= Ancho de la hoja (cm)

Las prácticas agronómicas de densidad de plantas y aplicación de nitrógeno, son los dos factores más importantes que influyen en el crecimiento del área foliar, bajo la mayoría de condiciones (Yoshida, 1981).

2.4.6 Materia seca. Ashley *et al.* (1965), han encontrado que existe una relación estrecha entre el área foliar y la acumulación de materia seca en la planta.

2.4.7 Índices de crecimiento. De acuerdo con Hunt (1982), si se va a realizar un análisis de crecimiento de individuos, los índices de crecimiento más frecuentemente utilizados son la Tasa de Crecimiento Relativo (TCR), Tasa de Acumulación Neta (TAN) y la Relación de Área Foliar (RAF). Cuando el análisis de crecimiento se hace sobre poblaciones o

comunidades, los índices que se utilizan son el Índice de Área Foliar (IAF), Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC) y Duración del Área Foliar (DAF).

2.4.7.1 Tasa de Crecimiento Relativo (TCR). De acuerdo con Radford (1967) y Sestak *et al.* (1971), se define como el incremento en biomasa por unidad de biomasa presente en unidad de tiempo (g/g-día).

La TCR representa la eficiencia de la planta para producir material nuevo (Hunt, 1978). Este índice depende de los procesos fotosintéticos y la respiración, aunque existe una pequeña contribución de los minerales que la planta absorbe del suelo. Según Torres de la Noval (1984), la TCR permite además, la comparación libre entre genotipos o tratamientos; entre tanto, Clavijo (1989), afirma que la TCR está afectada tanto por la densidad de plantas como por la altura y el grado de sombrero, lo mismo que por la disponibilidad de nutrientes necesarios para realizar una alta producción de fotosintatos encargados de producir la materia seca.

2.4.7.2 Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC). De acuerdo con Hunt (1978 y 1982), la TCC expresa la producción de materia seca por unidad de área en un período de tiempo determinado (g/día). Para Torres de la Noval (1984), la TCC es la pendiente de la curva sigmoide en un instante "t".

Según Sestak *et al.* (1971), éste índice es una medida de la eficiencia de producción de una comunidad de plantas, y permite hacer comparaciones entre diferentes comunidades y hábitats, etc. La TCC depende de la intensidad lumínica, densidad de siembra y arquitectura de planta y además qué, tanto la TCR como la TCC, están en función de la fotosíntesis, respiración, grosor de las hojas y condiciones ambientales.

2.4.7.3 Tasa de Asimilación Neta (TAN). De acuerdo con Sestak *et al.* (1971), es el incremento del material vegetal por unidad del sistema asimilativo y por unidad de tiempo (g/m²-día). En otras palabras, la TAN estima o describe la eficiencia del aparato fotosintético para producir carbohidratos. La TAN no mide fotosíntesis real, sino que expresa el excedente de materia seca acumulada por fotosíntesis luego de descontar la materia seca perdida por respiración. Sin embargo, la TAN sí es útil para analizar una especie y su comportamiento general de acuerdo con la ganancia neta de materia seca.

Según Hunt (1978 y 1982) y Torres de la Noval (1984), este índice representa la eficiencia en la producción de la planta, tomando el área foliar

como la parte productiva de la planta. Es decir, que la TAN es una medida del balance que existe entre la actividad fotosintética y la respiratoria de la planta, por lo cual, está afectada por la limitación de los factores esenciales de la fotosíntesis: altura de planta, densidad, sombrero, agua, luz y nutrientes (Clavijo, 1989).

2.4.7.4 Relación del Área Foliar (RAF). Según Torres de la Noval (1984), expresa la proporción de material asimilativo por unidad de material vegetal presente en un instante "t" de tiempo (cm^2/g). Está conformada por dos componentes: la magnitud del peso seco de la hoja por unidad de peso seco total de la planta (relación de peso foliar) y la relación entre el área foliar con el peso seco de la hoja (área foliar específica).

La RAF estima la proporción del área foliar cuya fotosíntesis, mantiene a toda la planta. Este índice, suministra información subdividida de la cobertura de la planta, respecto al resto de sus partes. En un sentido más amplio, la RAF representa la razón de la fotosíntesis sobre el material respiratorio de la planta.

2.4.7.5 Índice de Área Foliar (IAF). Según Sestak *et al.* (1971), describe el tamaño del aparato asimilador de una comunidad de plantas y sirve como valor primario para el cálculo de otras características de crecimiento. Hunt (1978 y 1982), lo define como la relación entre el área foliar de la planta y el área del suelo ocupada por ésta. Se expresa de la siguiente forma:

$$\text{IAF} = \text{AF} / \text{AS}$$

Donde:

IAF= Índice de área foliar
AF= Área fotosintéticamente activa en la planta
AS= Área del suelo que ocupa la planta

De acuerdo con Yoshida (1981), debido a que el IAF es la suma del área de todas las hojas, en arroz se puede analizar de la siguiente forma:

$$\text{IAF} = \text{TH} \times \text{NH} \times \text{NT} \times \text{NP}$$

Donde:

IAF=	Índice de área foliar
TH=	Tamaño promedio de la hoja
NH=	Número de hojas por macolla
NT=	Número de macollas por planta
NP=	Número de plantas por hectárea

El incremento del área foliar aumenta la intercepción de luz y esto a su vez resulta en un aumento de materia seca pero solo hasta el punto donde se encuentre el índice de área foliar óptimo.

De acuerdo con Hunt (1978), el IAF óptimo es el punto donde se encuentra la máxima tasa de acumulación de materia seca. Para Yoshida (1981), en arroz se necesita de un IAF de 5-6 para lograr la máxima fotosíntesis durante el estado reproductivo. Posteriormente, en el llenado de grano, el IAF disminuye, y también ocurre la senescencia de las hojas.

De acuerdo con Hunt (1978, 1982), Torres de la Noval (1984), del IAF se deriva la llamada duración del área foliar (DAF), mediante la integral del IAF para el período de desarrollo de la planta, o en el que se realizan las evaluaciones:

$$DUAF = \frac{(IAF_1 + IAF_2) (T_2 - T_1)}{2}$$

Donde:

DUAF=	Duración del área foliar
IAF ₁ y IAF ₂ =	Son los índices de área foliar obtenidos en dos épocas de muestreo.
T ₁ y T ₂ =	Indican los tiempos inicial y final, respectivamente.

2.4.7.6 Índice de Cosecha (IC). De acuerdo con Torres de la Noval (1984) y Yoshida (1981), representa la capacidad fisiológica para movilizar fotosintatos a los órganos que tienen importancia económica. Se define como:

$$IC = RE/RB = RGS/PST$$

Donde:

IC=	Índice de cosecha
RE=	Rendimiento económico
RB=	Rendimiento biológico
RGS=	Rendimiento de grano seco

PST= Peso seco total

De acuerdo con Yoshida (1981), se puede incrementar el rendimiento de grano aumentando la producción de materia seca total o el índice de cosecha; la primera es una medida del comportamiento fotosintético de los cultivos y el índice de cosecha es una medida de la fracción económicamente útil del rendimiento biológico. El peso seco total óptimo de un cultivo de arroz, está entre 10-20 t/ha, dependiendo de la variedad, manejo y ambiente. El índice de cosecha está alrededor de 0.3 para variedades tradicionales de porte alto y 0.5 para las variedades mejoradas de porte bajo. Bhatt (1977), sugiere el posible uso del IC como un criterio eficiente de selección en generaciones tempranas.

2.4.7.7 Correlaciones entre los índices de crecimiento. De acuerdo con Zavala (1982), la mayor TAN ocurre cuando el IAF es óptimo, con una alta correlación entre TCC y AF (máxima) en este punto.

La TAN disminuye conforme se incrementa el IAF, debido a que al aumentar el IAF también disminuye el porcentaje de captación de luz en los estratos inferiores, dándose la mayor TAN solo cuando el IAF es óptimo. En éste punto, también existe una alta correlación entre TCC y AF. Las variaciones de materia seca dependen de las variaciones en el AF; por lo tanto, un genotipo rendidor debe conjugar alta Tasa de Asimilación Neta y un Área Foliar durable durante el período de llenado de grano.

2.5 MATERIALES Y METODOS

2.5.1 Localización y duración. El ensayo contempló dos siembras, semestre A y semestre B, en las instalaciones del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), localizado a una altura de 965 m.s.n.m. en el municipio de Palmira (Valle), que presenta las siguientes condiciones climáticas:

Cuadro 2.1. Valores promedios de las variables climatológicas durante el ensayo. CIAT, Palmira (Valle).

Parámetro	Semestre A	Semestre B
Precipitación promedio (mm)	460	640
Temperatura promedio (°C)	25	24
Humedad relativa promedio (%)	72	76
Radiación solar (MJoules/m ²)	16.2	15.9

Fuente: CIAT, 2000.

2.5.2 Variedades de arroz. En el Cuadro 2, aparecen relacionadas las 14 variedades liberadas en Colombia, representantes de los diversos ciclos de mejoramiento y utilizadas en el ensayo; las tres primeras son introducciones y las 11 restantes corresponden a selecciones ó hibridaciones.

Cuadro 2.2. Variedades de arroz utilizadas en el ensayo.

Año	Nombre	Origen	Genealogía	Cruzamiento	Clasificación	Porte
1951	B.Bonnet 50	Texas-USA	Desconocida	Desconocido	Introducción	Alto
1966	IR 8	IRRI	IR 8-288-3	Peta//DGWG	Introducción	Enano
1969	IR 22	IRRI	Desconocida	Desconocido	Introducción	Enano
1971	Cica 4	CIAT-ICA	IR930-31-1-1B	IR8/IR12-178-2-3	Selección	Semienano
1976	Cica 7	CIAT-ICA	P 881-19-24-12-1B-6-1B	IR22//IR930-147-8/Colombia 1	Hibridación	Semienano
1976	Cica 9	CIAT-ICA	P 901-22-11-2-6-2-1B	IR665-23-3-1/P894	Hibridación	Semienano
1978	Cica 8	CIAT-ICA	P 918-25-1-4-2-3-1B-1131-1	Cica 4//IR665-23-3/Tetep	Hibridación	Semienano
1981	Metica 2	CIAT-ICA	P 1044-86-5-3-1-2M	P738-137-3-1/P997	Hibridación	Semienano
1982	Oryzica 1	CIAT-ICA	P 1429-8-9M-2-1B-5	P1223/P 1225	Hibridación	Semienano
1984	Oryzica 2	CIAT-ICA	P 2023-F4-74-2-1B	Bg90-2//Cica 8/Cica 7	Hibridación	Semienano
1987	Oryzica 3	CIAT-ICA	P 2231-F4-138-6-2-1-1B	Cica 7//Cica 8/Pelita I-1	Hibridación	Semienano
1988	Línea 2	Semillano	Desconocida	Desconocido	Hibridación	Semienano
1989	O. Llanos 4	CIAT-ICA	P 5413-8-3-5-11	P4568/P 5003	Hibridación	Semienano
1989	O. Llanos 5	CIAT-ICA	CT5747-24-5-4-2	P5269/P 2060-F4-2-5-2	Hibridación	Semienano

Fuente: CIAT, (2006); IRRI, 2006, adaptado por el autor.

2.5.3 Métodos. Siguiendo el concepto del nuevo tipo de planta propuesto por Dingkuhn *et al.* (1991), se evaluaron las siguientes variables fisiológicas:

1. Acumulación y distribución de materia seca y cálculo de tasas de crecimiento (muestreo secuenciado).

2. Eficiencia fotosintética del follaje durante la fase de crecimiento (tasa de asimilación neta).
3. Duración del área foliar y muerte de tejidos.
4. Producción de macollas y su distribución en el tiempo (muestreo secuenciado).

Al inicio del cultivo, se realizó un raleo para dejar una población de 240 plantas/m².

La secuencia en las evaluaciones fue la siguiente: 15, 25, 35, 45, 60 y 75 días después de emergencia (dde), momento de floración, 10, 14, 18, 22, 26 y 30 días después de floración (ddf) y cosecha.

2.5.4 Muestreos. A los 15 y 25 dde se tomaron 10 plantas/parcela y se determinó el número de tallos/planta, altura de planta, área foliar, peso seco de los diferentes órganos (hojas y tallos + vaina); a partir de los 35 dde, se realizaron las evaluaciones sobre 5 plantas/parcela.

Vale la pena aclarar que en las dos primeras evaluaciones se tomaron 10 plantas para garantizar suficiente material para la medición y la determinación del tejido muerto (hoja + vaina), se comenzó hacer a partir de los 60 dde.

Para medir el área foliar (cm²), se colocaron la totalidad de las hojas de las cinco ó 10 plantas en un acetato para pasarlas por el planímetro fotoeléctrico. Mientras que para el peso seco (g), las muestras se colocaron en un horno a 65°C durante 72 horas. Este peso se reportó en forma separada para cada uno de los órganos.

Al momento de floración, se tomaron cinco plantas para determinar el área foliar, altura de planta, número de tallos/planta y peso seco de los diferentes órganos (hojas, tejido muerto, tallos + vainas, panículas).

En la época de cosecha sobre dos cuadros de 0.25 m², se determinó la altura de planta, peso seco de los diferentes órganos (hojas, tejido muerto y tallos) y número de tallos.

2.5.5 Análisis de crecimiento. Para el análisis de crecimiento, se utilizaron los modelos Logístico, Gompertz y Richards, escogiendo el de mayor ajuste para cada caso. Dado que no resulta práctico la

determinación continua de los cambios del peso seco total y el área foliar de la planta en el tiempo, lo que se hizo fue medir éstas variables en grupos de plantas diferentes, en intervalos sucesivos de tiempo, a lo largo del desarrollo del cultivo y se calcularon las medidas de los índices de crecimiento obtenidas de la integración de las ecuaciones planteadas para cada uno de los índices de crecimiento, a través de las siguientes ecuaciones (Torres de la Noval, 1984).

$$TCC = \frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1}$$

Donde:

TCC= Tasa de crecimiento del cultivo
 P_1 y P_2 = Valores de peso seco obtenidos en dos épocas de muestreo
 t_1 y t_2 Indican los tiempos inicial y final, respectivamente

$$TCR = \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{t_2 - t_1}$$

Donde:

TCR= Tasa de crecimiento relativo
 $\ln P$ = Logaritmo natural del peso seco de dos épocas de muestreo
 t_1 y t_2 Indican los tiempos inicial y final, respectivamente

$$TAN = \frac{P_2 - P_1}{A_2 - A_1} \times \frac{\ln A_2 - \ln A_1}{t_2 - t_1}$$

Donde:

TAN= Tasa de asimilación neta
 P_1 y P_2 = Valores de peso seco obtenidos en dos épocas de muestreo
 A_1 y A_2 = Valores de área foliar obtenidos en dos épocas de muestreo
 $\ln A$ = Logaritmo natural del área foliar de dos épocas de muestreo
 t_1 y t_2 Indican los tiempos inicial y final, respectivamente

$$RAF = \frac{1}{2} \times \frac{A_1 + A_2}{P_1 + P_2}$$

Donde:

RAF= Relación de área foliar
A₁ y A₂= Valores de área foliar obtenidos en dos épocas de muestreo
P₁ y P₂= Valores de peso seco obtenidos en dos épocas de muestreo

Además de la suposición de continuidad de P y A con el tiempo, para el cálculo de la TAN se requiere que el AF y PS de la planta estén relacionados linealmente durante el período de tiempo que se analiza; para la RAF se necesita que varíe linealmente con el tiempo. De no cumplirse estas suposiciones, las ecuaciones para calcular las medias de los índices de crecimiento no son válidas.

Para estimar los otros índices de crecimiento (IAF, DAF e IC), se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$IAF = AF/AS$$

Donde:

IAF= Índice de área foliar
AF= Área fotosintéticamente activa en la planta
AS= Área del suelo que ocupa la planta

$$DÁF = \frac{(IAF_1 + IAF_2) (t_2 - t_1)}{2}$$

Donde:

DAF= Duración del área foliar
IAF₁ y IAF₂= Son los índices de área foliar obtenidos en dos épocas de muestreo.
t₁ y t₂ Indican los tiempos inicial y final, respectivamente

$$\acute{I}C = RE/RB = RGS/PST$$

Donde:

IC= Índice de cosecha
RE= Rendimiento económico
RB= Rendimiento biológico
RGS= Rendimiento de grano seco
PST= Peso seco total

2.5.6 Diseño Experimental. El ensayo se estableció en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, donde se ubicaron las 14 variedades de arroz, para un total de 56 unidades experimentales. El tamaño de la parcela fue de 27.36 m² (11.4 m x 2.4 m); para evitar alteración de la densidad establecida, se marcaron cuadros de muestreo de 0.25 m² para cada una de las evaluaciones.

2.5.7 Análisis Estadístico. Se realizaron los análisis de varianza para la materia seca, No. de tallos/planta y por m², altura de planta, los índices de crecimiento y correlaciones entre estas variables.

2.6 RESULTADOS Y DISCUSION

Desde la Figura 2.2 a la 2.5, aparecen las curvas de crecimiento según la distribución de la materia seca a través del tiempo para las 14 variedades colombianas de arroz durante los dos (2) semestres, de acuerdo con el modelo de mayor ajuste (logístico, Richards ó Gompertz).

En estas figuras, se observa que la mayoría de las variedades presentan curvas de crecimiento diferentes en los dos semestres, determinándose un efecto de las condiciones ambientales del semestre, que influyen sobre el

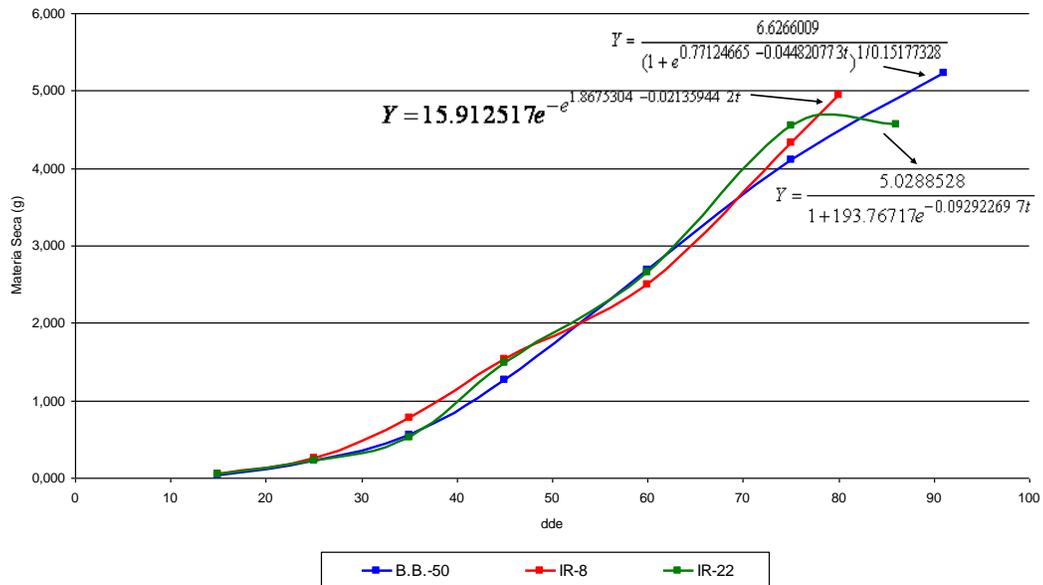
crecimiento de la mayoría de las variedades. Para ocho variedades, es más sigmoideal el crecimiento en el segundo semestre, mientras que en las variedades IR-22 Metica 2 y O. Llanos 5, la curva más sigmoideal fue para el primer semestre.

En el semestre A, al momento de la floración la mayoría de las variedades seguían acumulando materia seca, mientras que en el semestre B, estas variedades estaban próximas o habían logrado la asíntota superior de crecimiento mínimo al momento de floración. Situación contraria se observa con las variedades Blue Bonnet 50, Cica 9 y Oryzica 3, que presentan curvas de crecimiento similares para los dos semestres y de forma sigmoideal.

Respecto a la acumulación de materia seca a través del tiempo, en dichas figuras se observa que la variedad con los mayores promedios fue Cica 7, durante el semestre B, el cual tiene un tipo de planta semienano mientras que la variedad de menor acumulación de materia seca fue IR-8, genotipo de porte bajo.

Igualmente, se observó consistencia en los dos semestres de los modelos matemáticos usados (Richards, Gompertz o Logístico); por ejemplo, para la variedad Blue Bonnet 50, el modelo de mayor ajuste fue el de Richards, para las variedades IR 8 y Cica 7, el mejor modelo fue el de Gompertz y para las variedades IR 22, Cica 8 y Oryzica 3, el modelo de mejor ajuste fue el Logístico. Para el resto de variedades no se dio este comportamiento, los modelos de mayor ajuste a los datos de acumulación de materia seca para un semestre o para el otro, podían ser cualquiera de las combinaciones Gompertz-Richards, Gompertz-Logístico, Richards—Logístico, Richards-Gompertz y Logístico-Gompertz.

Semestre A



Semestre B

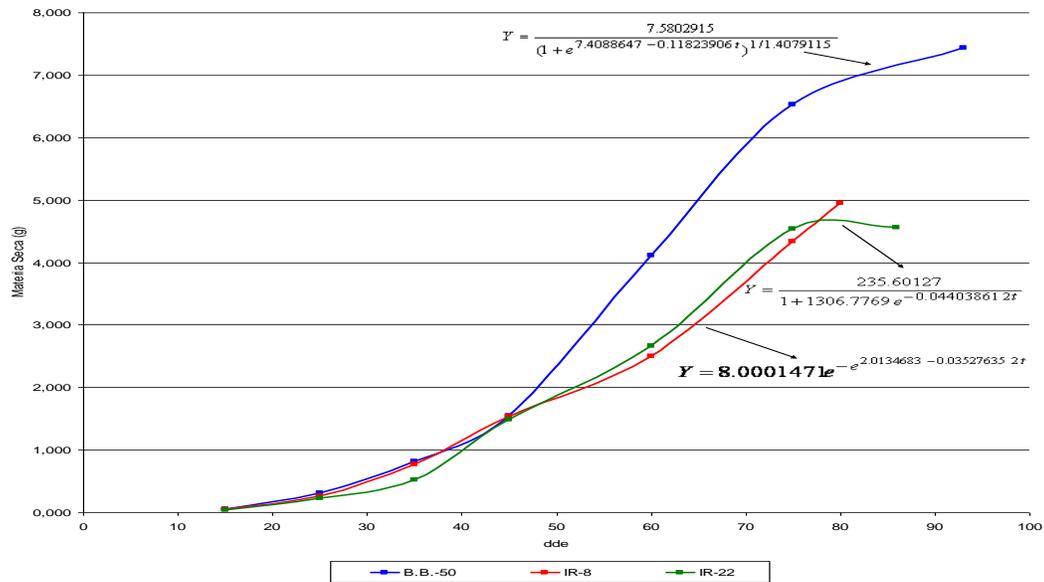
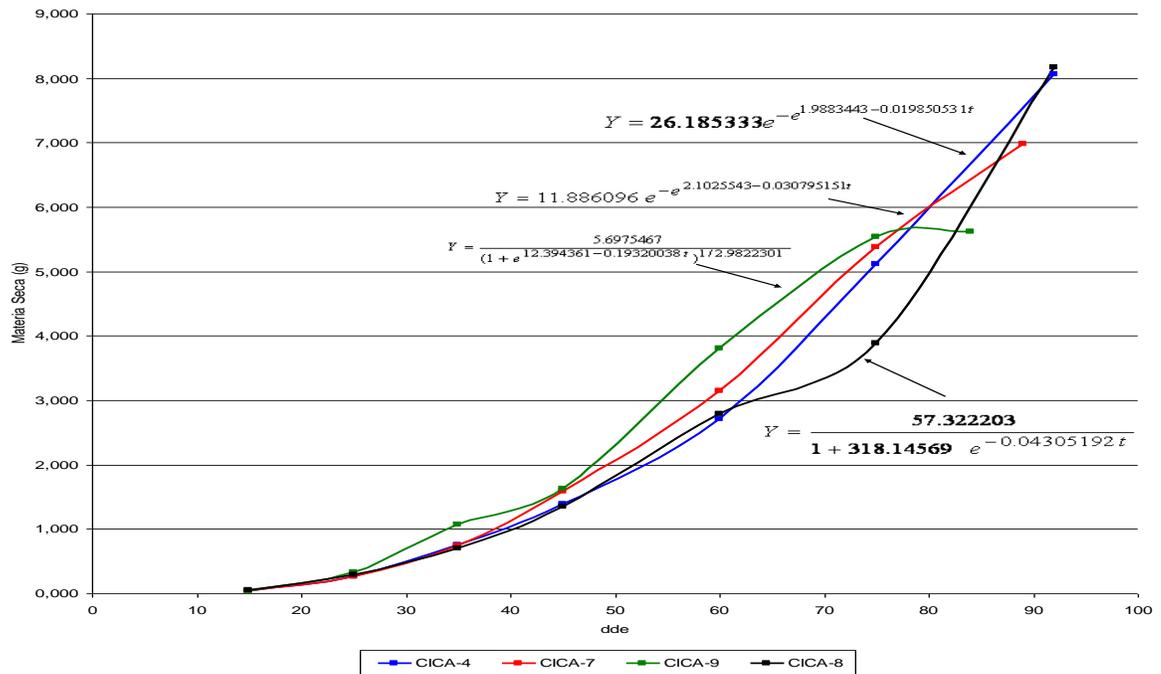


Figura 2.2 Curvas de crecimiento para las variedades de arroz introducidas, según los Modelos de Richards: $Y = a / (1 + e^{b-ct})^{1/d}$, Gompertz: $Y = ae^{-e^{b-ct}}$ y Logístico: $Y = a / (1 + be^{-ct})$. CIAT, Palmira (Valle).

Semestre A



Semestre B

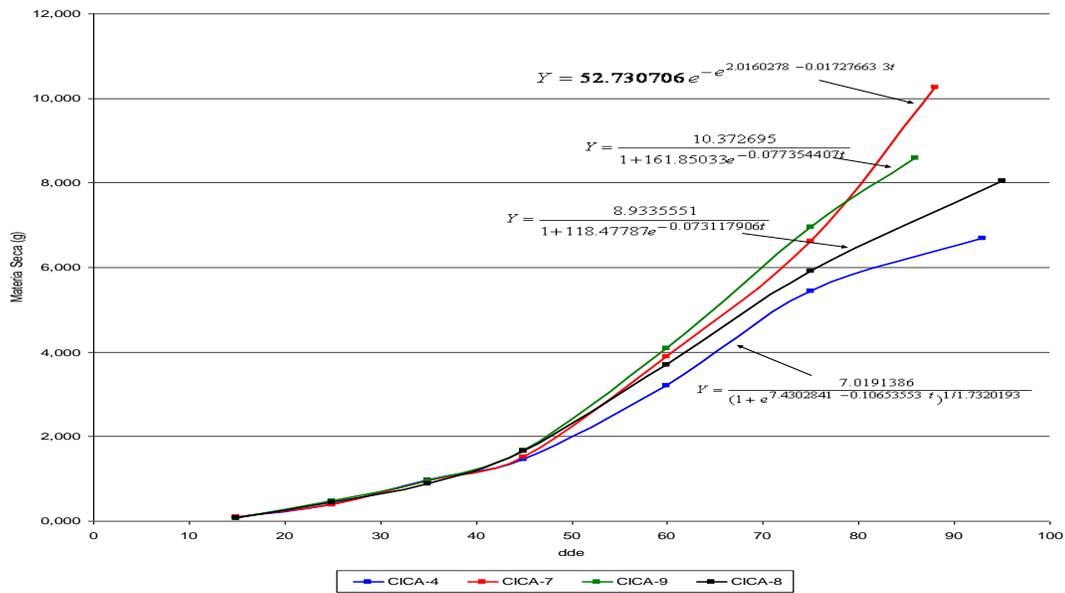
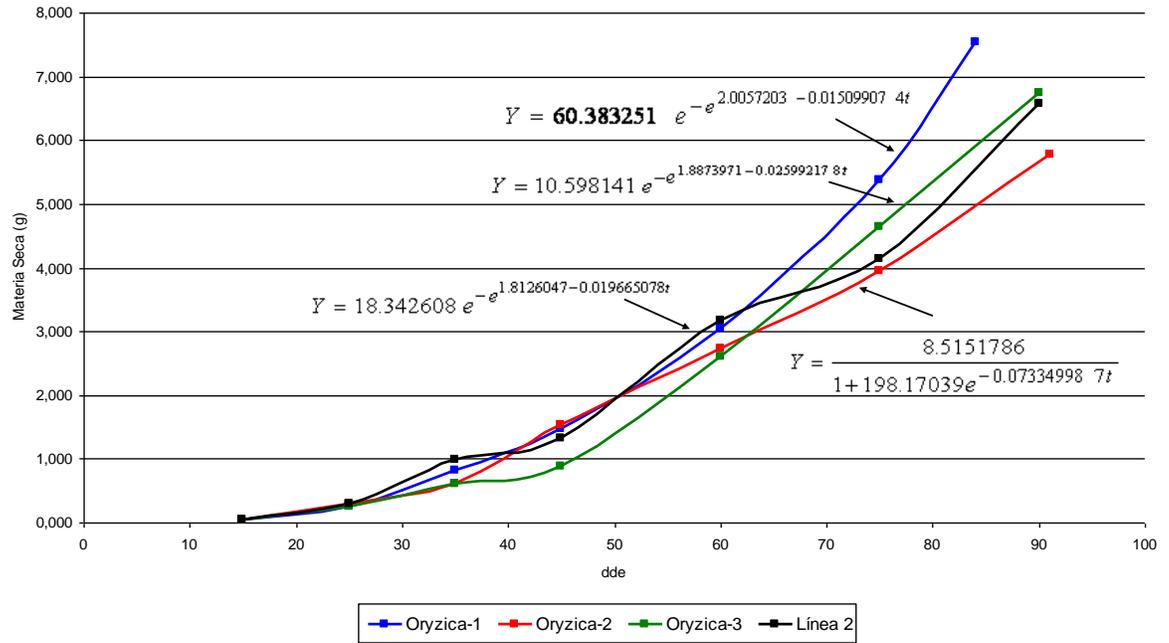


Figura 2.3. Curvas de crecimiento para las variedades de arroz del grupo de las CICA's, según los Modelos de Richards: $Y = a / (1 + e^{b-ct})^{1/d}$, Gompertz: $Y = ae^{-e^{b-ct}}$ y Logístico: $Y = a / (1 + be^{-ct})$. CIAT, Palmira (Valle).

Semestre A



Semestre B

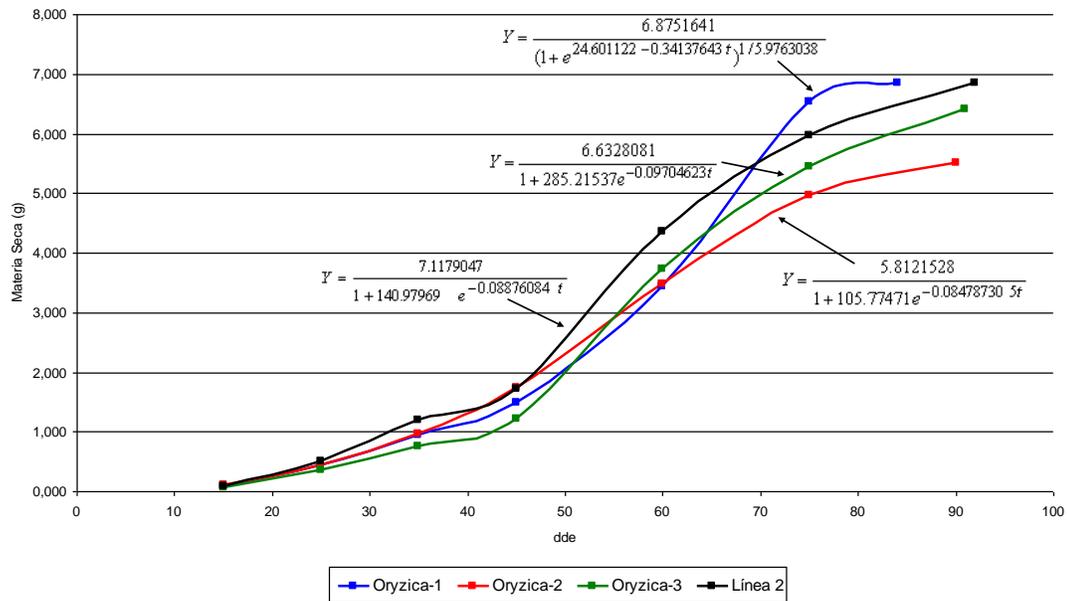
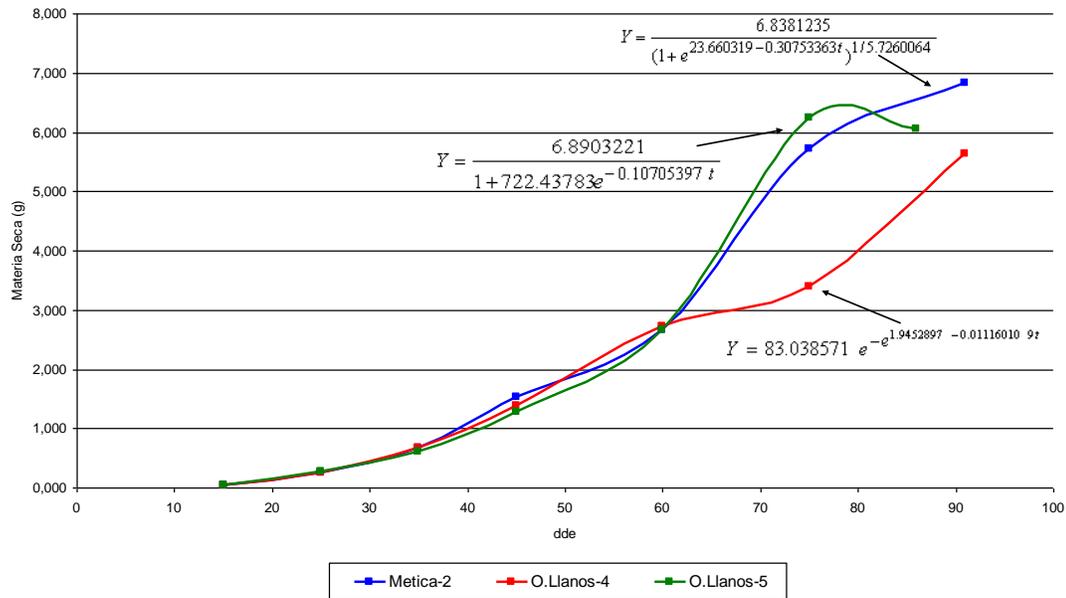


Figura 2.4. Curvas de crecimiento para las variedades de arroz del grupo de las Oryzica's y la línea 2, según los Modelos de Richards: $Y = a / (1 + e^{b-ct})^{1/d}$, Gompertz: $Y = ae^{-e^{b-ct}}$ y Logístico: $Y = a / (1 + be^{-ct})$. CIAT, Palmira (Valle).

Semestre A



Semestre B

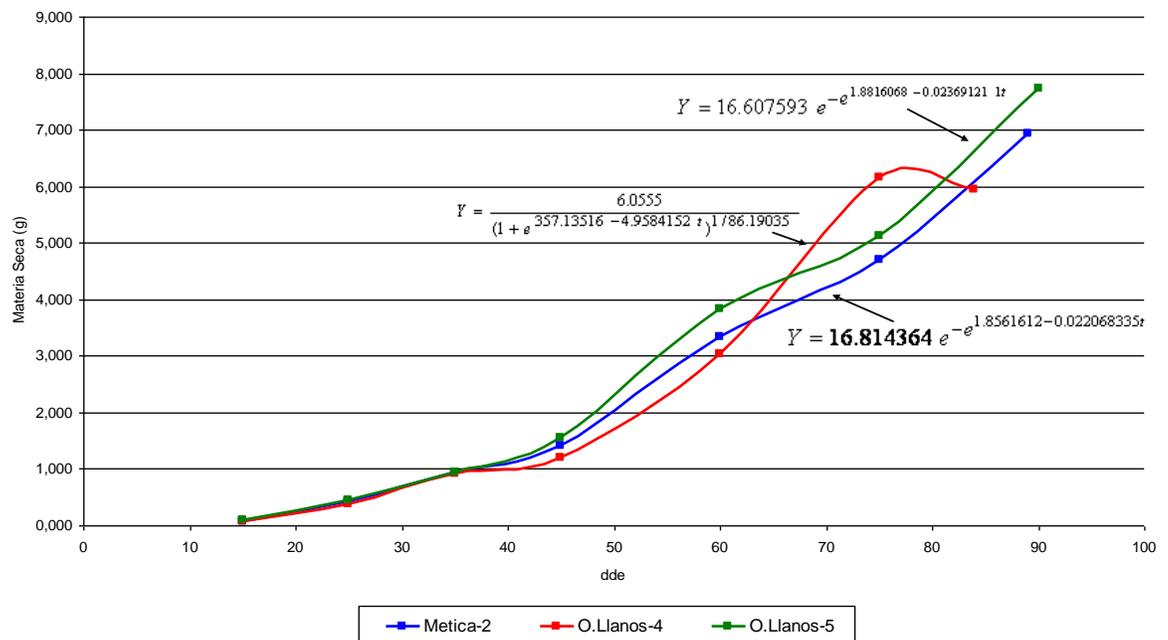


Figura 2.5. Curvas de crecimiento para las variedades de arroz liberadas para los Llanos Orientales, según los Modelos de Richards: $Y = a / (1 + e^{b-ct})^{1/d}$, Gompertz: $Y = ae^{-e^{b-ct}}$ y Logístico: $Y = a / (1 + be^{-ct})$. CIAT, Palmira (Valle).

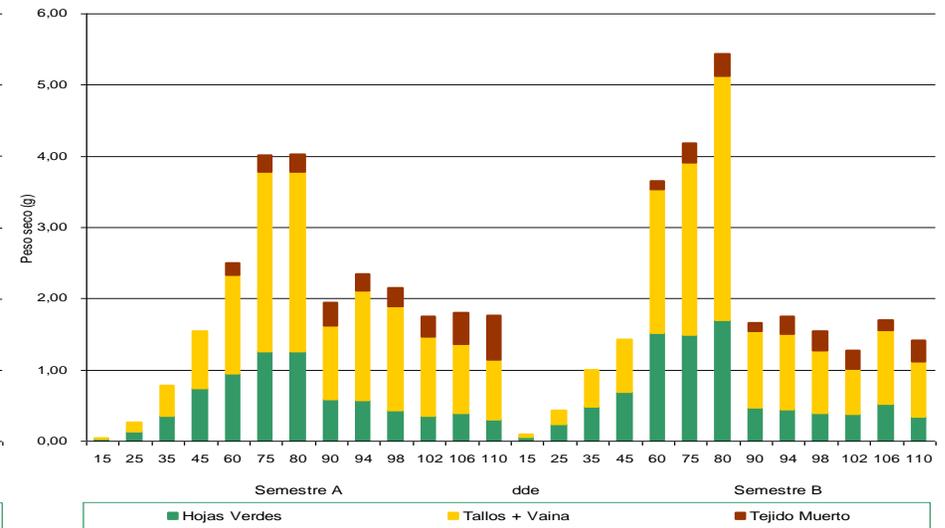
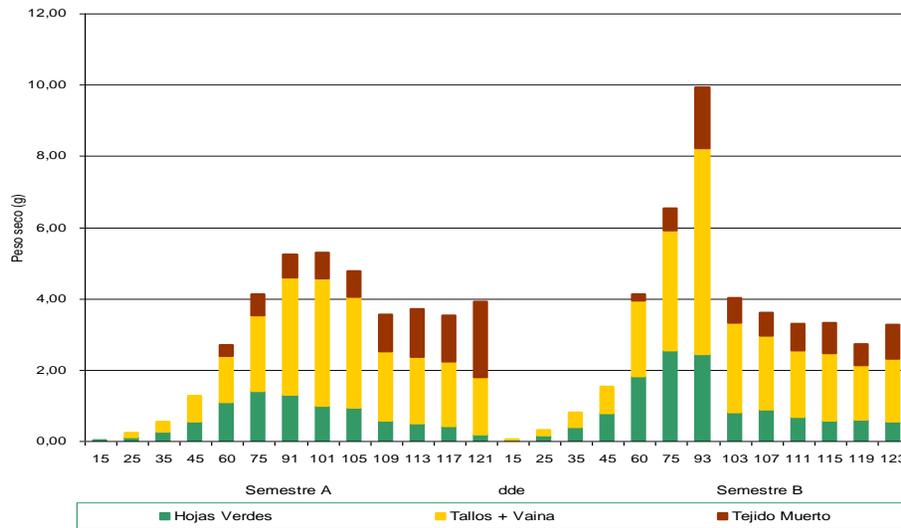
En la Figura 2.6, se representa la distribución de la materia seca por tejido de la planta a través del tiempo para el grupo de las variedades de arroz introducidas, se destaca que la mayor respuesta ocurre en el semestre B, siendo la mayor acumulación en el momento de floración, con los valores de peso seco más altos para los tejidos hojas verdes y tallos + vaina y los valores de peso seco más bajos en el tejido muerto para dicho semestre. Los valores más altos en peso seco fueron alcanzados por la variedad Blue Bonnett 50, debido a que posee un tipo de planta de porte alto, con unos largos tallos, diferencia que se observó de mejor forma en el semestre B; sin embargo, esta variedad también presenta los valores más altos de peso seco del tejido muerto. Mientras que la variedad IR-8, con el tipo de planta contrastante (enano), presenta los valores más bajos en acumulación de la materia seca a través del tiempo.

Respecto al grupo de las CICA's (Figura 2.7), en general estas variedades presentan una mayor acumulación de materia seca en los dos semestres que las variedades de arroz introducidas. En este segundo grupo de variedades, se destaca que para las variedades Cica 4 y Cica 8, los mayores promedios se presentan en el semestre A y para las otras dos variedades, Cica 7 y Cica 9, la mayor respuesta ocurre en el segundo semestre, con la mayor acumulación de materia seca al momento de la floración para las cuatro variedades. En este grupo de variedades, se encuentra la variedad que presentó el mayor promedio de materia seca de las 14 variedades de arroz evaluadas, se trata de Cica 7, variedad semienana y con el mayor crecimiento inicial. Respecto al peso seco del tejido muerto, se presentan los más altos promedios para el semestre A, especialmente las variedades Cica 4 y Cica 8.

En la Figura 2.8, se pueden observar los valores promedios en la acumulación de materia seca para las variedades del grupo de las Oryzica's, las cuales presentan respuestas similares en los dos semestres, demostrando que no hubo efecto de las condiciones ambientales sobre la respuesta fenotípica de las variedades de este grupo, con los mayores valores al momento de la floración, sin embargo, para todas las variedades del grupo la evaluación de materia seca a los 75 dde, previa a la floración, presenta valores cercanos a ésta en el semestre B, situación un poco diferente para el semestre A, donde la diferencia entre estas dos épocas de evaluación fue mayor. En relación a la senescencia, se observa un mayor

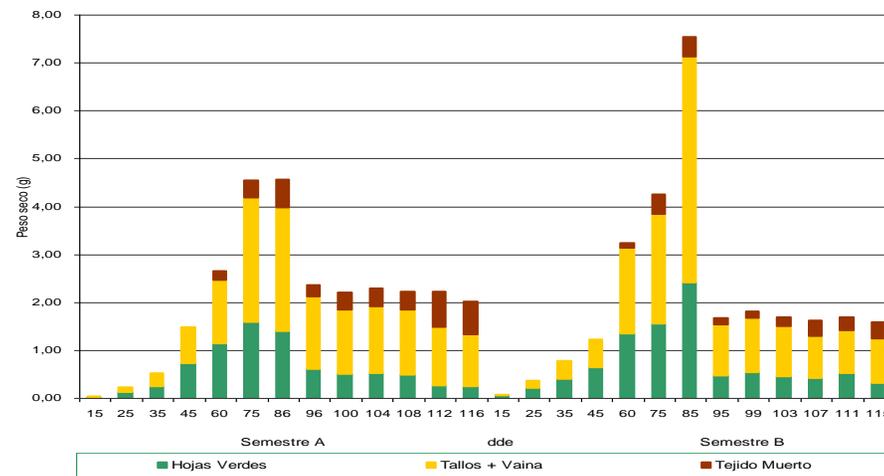
valor en el semestre A en el tejido muerto, especialmente en la variedad Oryzica 2.

En el último grupo de variedades (Figura 2.9), aquellas liberadas para los Llanos Orientales, se presentaron valores similares a las variedades de los otros grupos y en forma general no hubo un efecto marcado del semestre, no obstante, cabe destacar que las variedades Oryzica Llanos 4 y Oryzica Llanos 5, presentan valores un poco más altos en la evaluación de los 75 dde que en la etapa de floración, siendo mayor en el semestre B para la primera variedad y en el semestre A para O. Llanos 5. En la variedad Metica 2, se presentó una mayor senescencia en el semestre A que en el B.



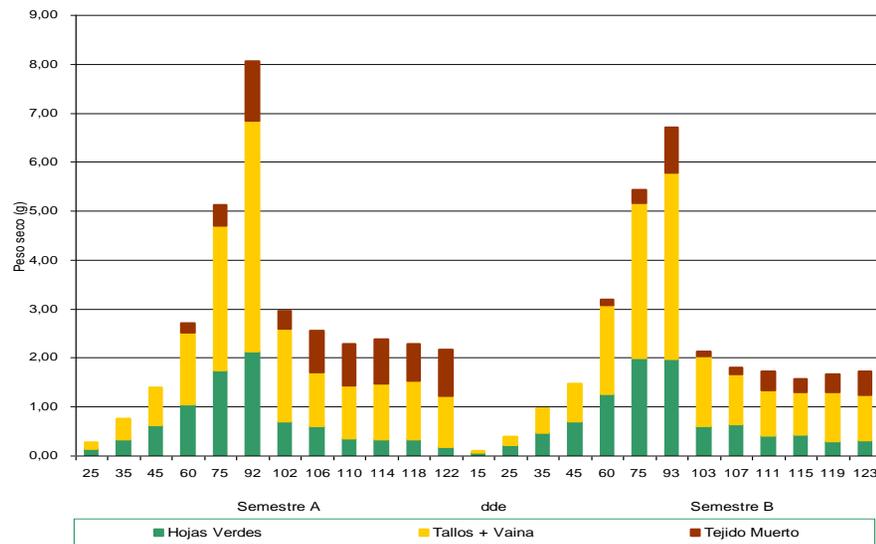
B.B. 50

IR-8

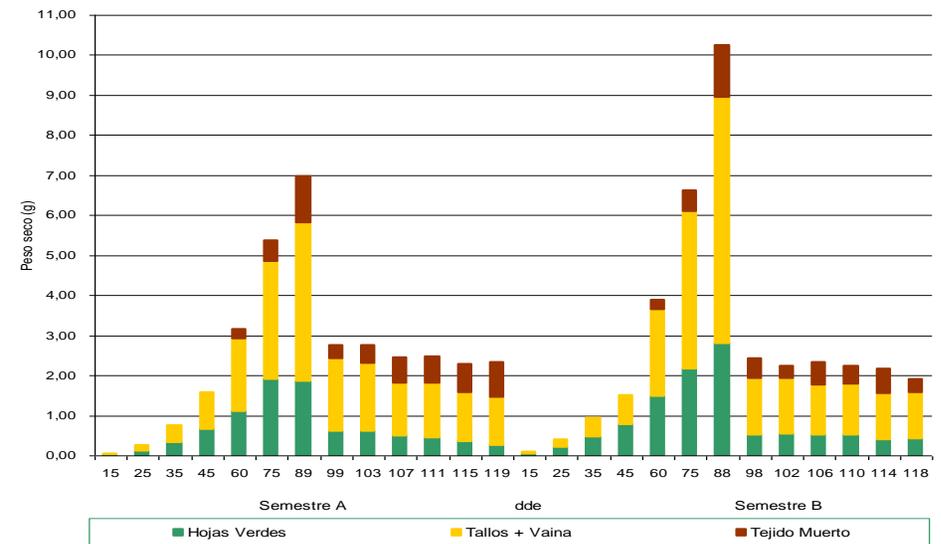


IR 22

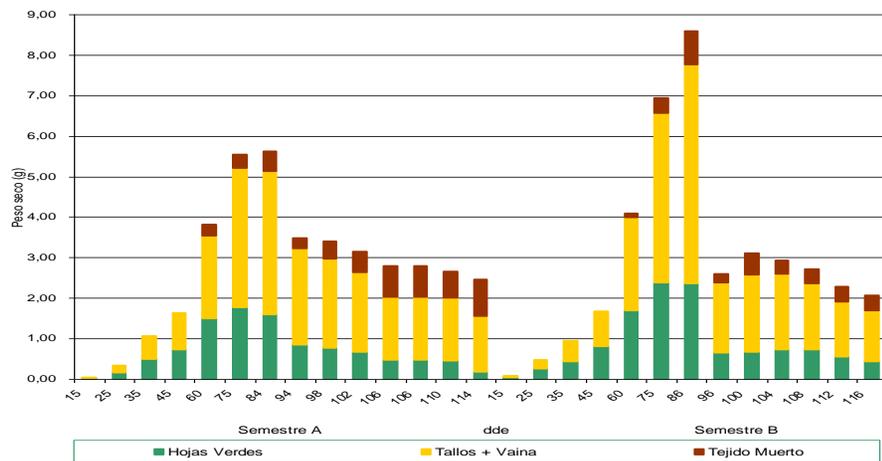
Figura 2.6. Distribución a través del tiempo de la materia seca por tejido en las variedades de arroz introducidas. CIAT, Palmira (Valle).



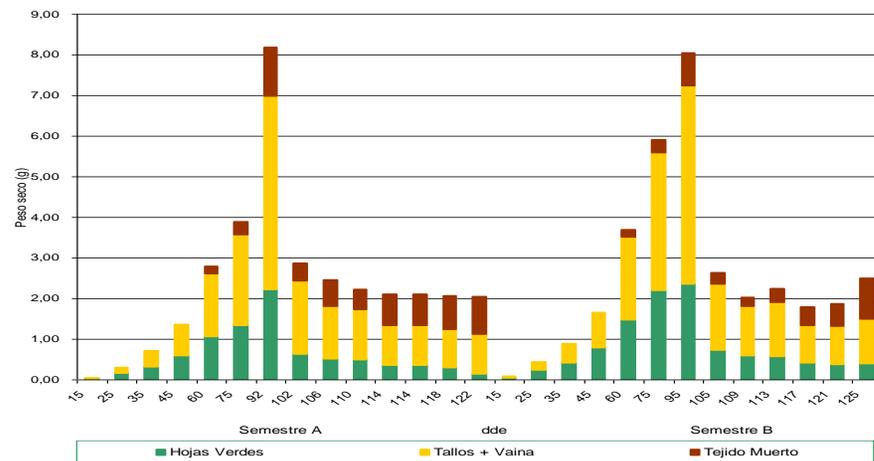
Cica 4

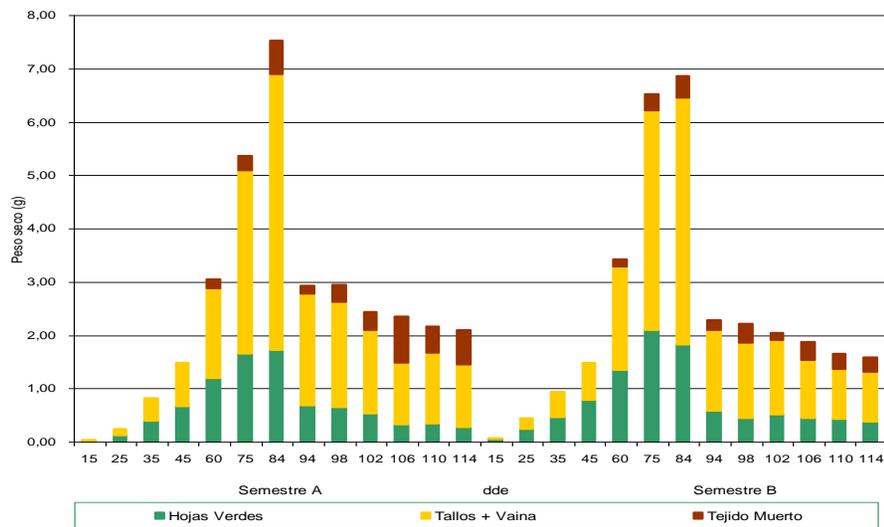


Cica 7

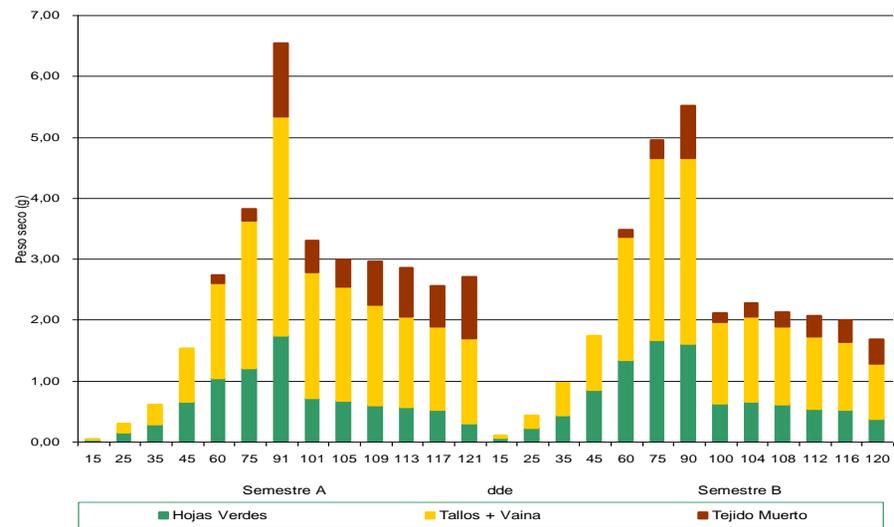


Cica 9

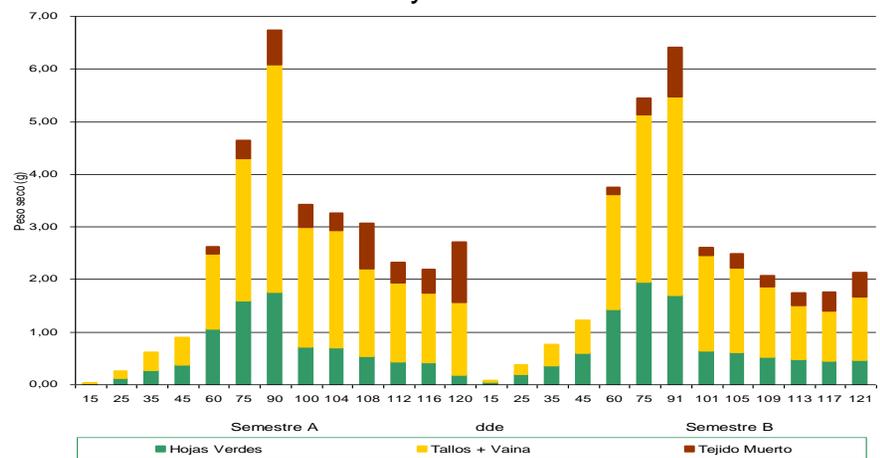




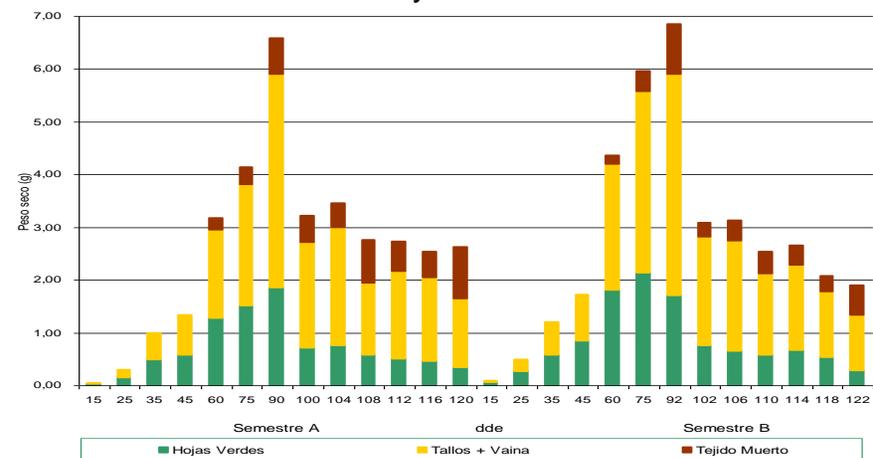
Oryzica 1



Oryzica 2

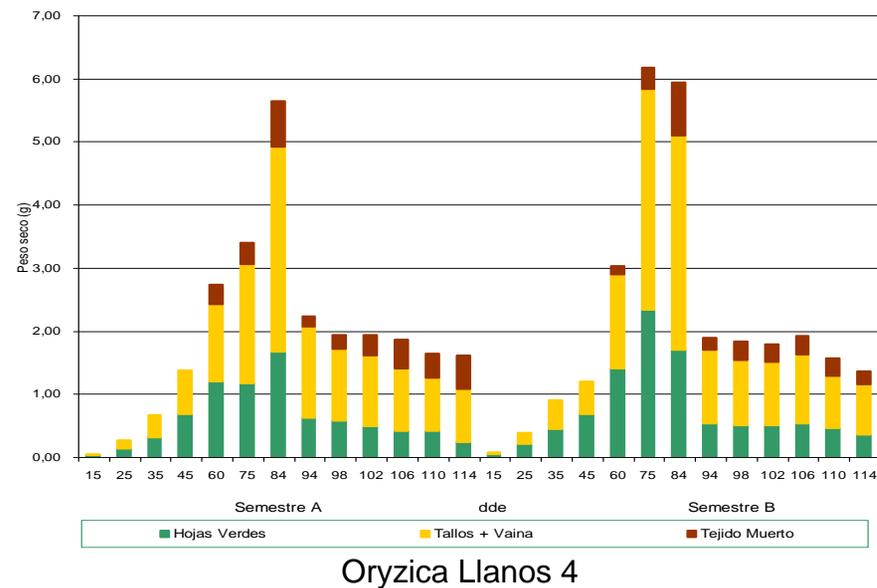
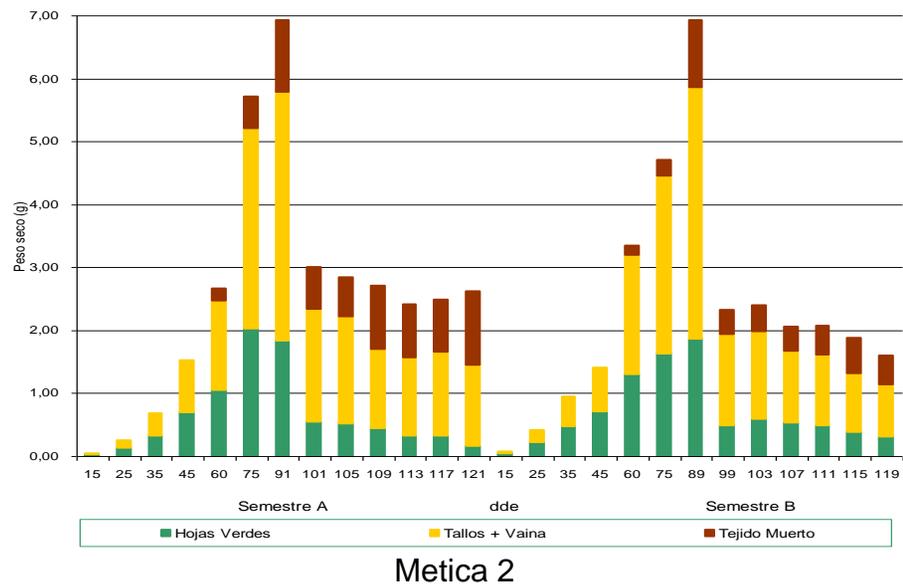


Oryzica 3



Línea 2

Figura 2.8. Distribución a través del tiempo de la materia seca por tejido en las variedades de arroz del grupo de las ORYZICA's y la Línea 2. CIAT, Palmira (Valle).



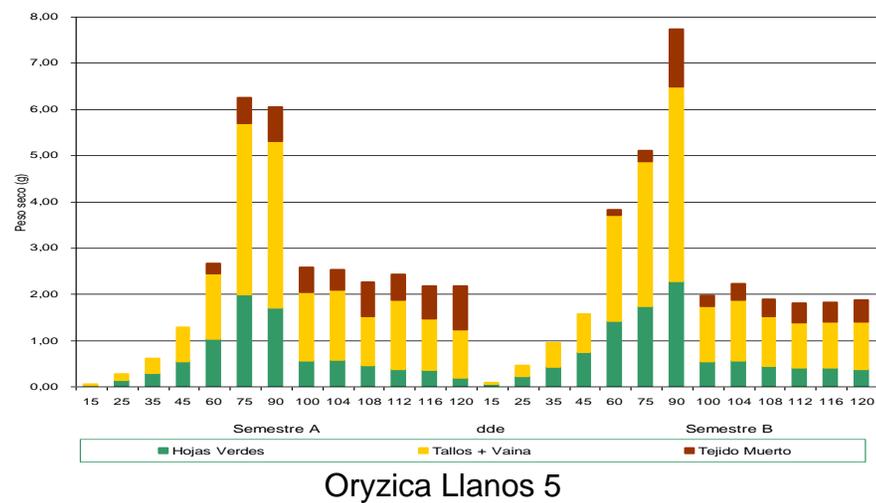


Figura 2.9. Distribución a través del tiempo de la materia seca por tejido en las variedades de arroz liberadas para los Llanos Orientales. CIAT, Palmira (Valle).

En la Figura 2.10, aparecen los valores de la relación del tejido muerto y el peso seco total a través del tiempo para las 14 variedades de arroz evaluadas; esta relación proporciona una mayor claridad acerca de la senescencia de la planta. Durante el semestre A, se observa que alrededor de los 60 dde, se comienzan a presentar respuestas diferenciales entre las variedades evaluadas, presentando los mayores valores las variedades Blue Bonnet 50 y Oryzica Llanos 4, la primera de ellas, se mantiene a partir de esta edad hasta la cosecha con valores muy altos (más del 50%), siendo una característica desfavorable para esta variedad, porque tiene una alta capacidad de almacenamiento en los tallos pero esta alta senescencia no le permite ser eficiente en el llenado de grano. Por su parte, la variedad Oryzica Llanos 4, mejora esta condición desfavorable a partir de floración.

Otras variedades con altos valores en esta relación durante el semestre A, fueron Cica 4, Metica 2 y Cica 8, condición que no “encaja” en el nuevo tipo de planta, donde se prefiere que las variedades presenten el mayor tiempo posible el follaje verde. Cabe destacar que las variedades IR-8 y Oryzica 1, presentan en casi todas las épocas de evaluación los valores más bajos en esta relación, que explica en parte el alto potencial de rendimiento y estabilidad, respectivamente.

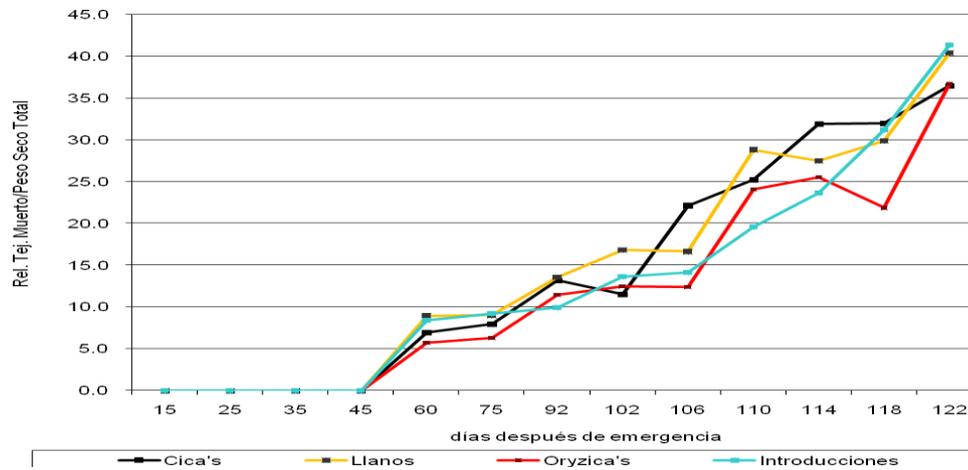
En forma general, el semestre B confirmó la tendencia de la mayoría de las variedades, presentando una alta relación del tejido muerto versus el peso seco total las variedades Blue Bonnet 50, Cica 8 y Metica 2, mientras que las variedades con la menor relación fueron nuevamente IR 8 y Oryzica 1. Esta situación sugiere un efecto genético mayor que los provocados por el ambiente, lo que permitiría considerarlo como un parámetro de selección, lo cual concuerda con los tipos de planta propuestos por el IRRI (1994) y el FLAR (2006).

Respecto a la relación del tejido vivo (hojas) versus peso seco total (Figura 2.11), se observa una menor dispersión de los datos a través del tiempo para las 14 variedades en el semestre A que en el B. Se destacan las variedades Oryzica Llanos 4 e IR 8, con los mayores promedios a través del tiempo en ambos semestres, lo cual le permitiría a estas variedades llegar con las hojas verdes y activas hasta una edad muy cercana de la cosecha. En contraposición, las variedades Blue Bonnet 50 y Metica 2, presentan los promedios más bajos en esta relación, tanto en el semestre A como en el semestre B, lo que explica parcialmente sus bajos rendimientos, teniendo en cuenta que es conveniente que las hojas permanezcan más tiempo verdes.

Entre las 14 variedades evaluadas, se destaca que la variedad Oryzica Llanos 5 presentó valores medios para las relaciones entre el peso seco del

tejido muerto y el peso seco total y entre el peso seco del tejido vivo (hojas) y el peso seco total, de manera consistente para los dos semestres, presentando una senescencia intermedia y no siendo afectada por las condiciones ambientales de los semestres.

Semestre A



Semestre B

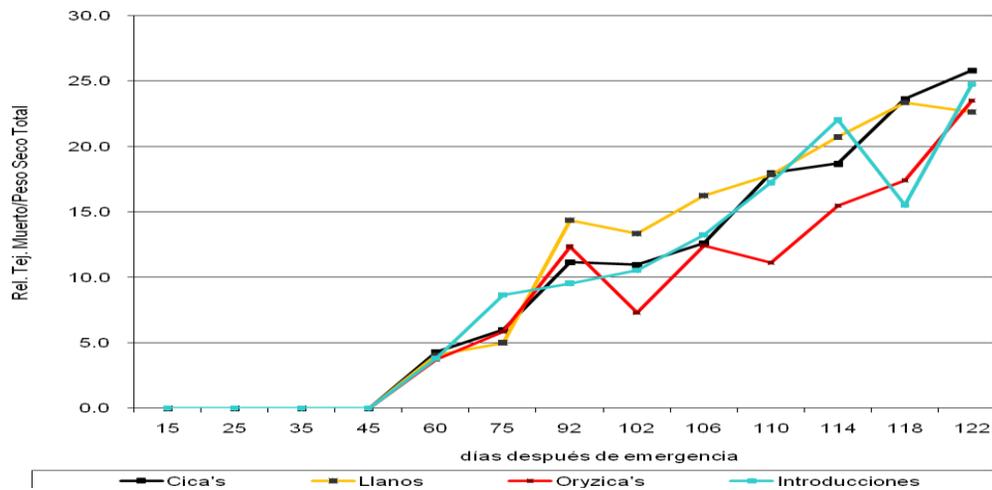
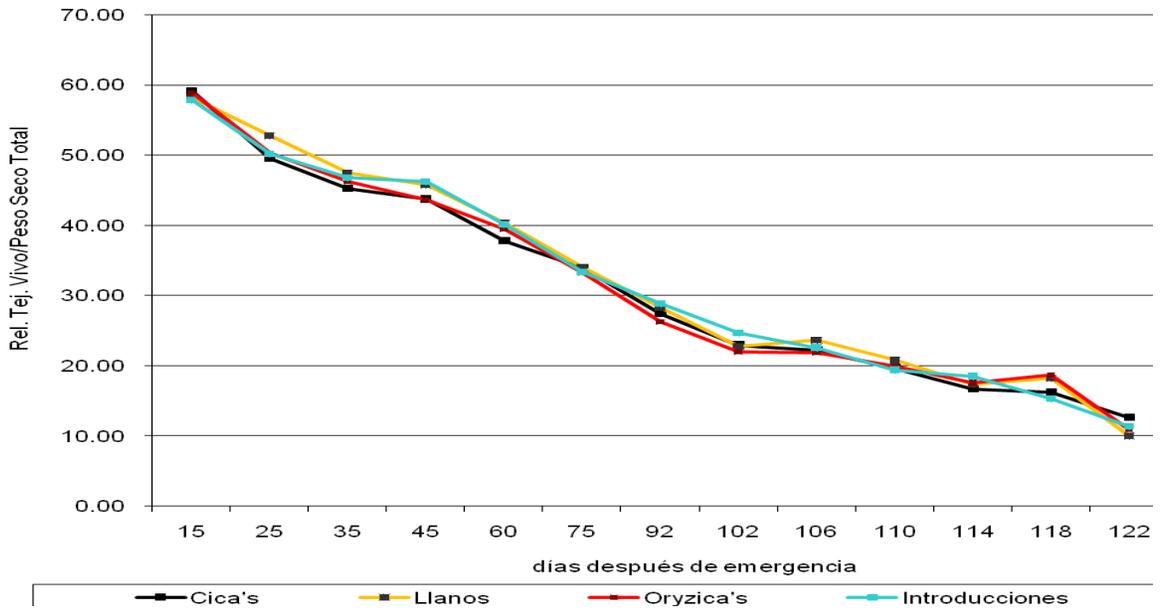


Figura 2.10. Variación a través del tiempo de la relación del tejido muerto y el peso seco total para los cuatro grupos de variedades de arroz (Introducciones, Cica's, liberadas para los Llanos Orientales y Oryzica's). CIAT, Palmira (Valle).

Semestre A



Semestre B

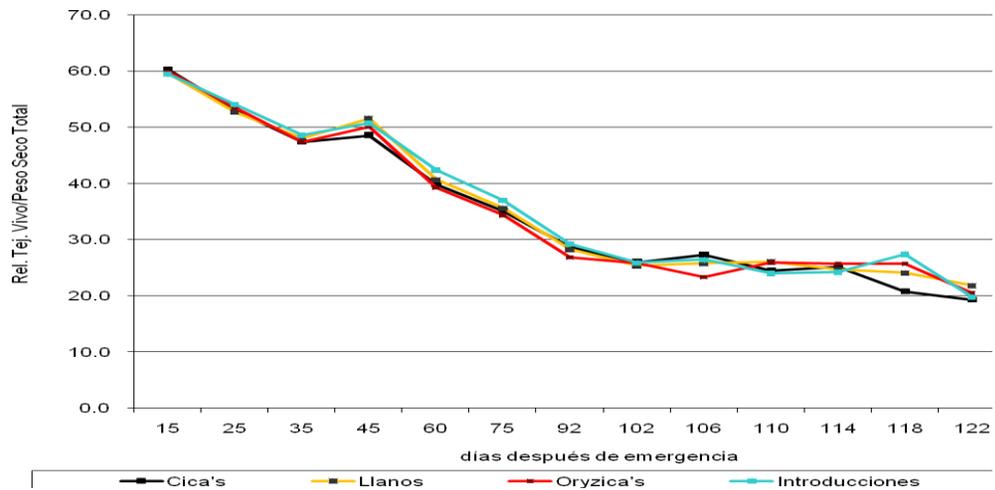


Figura 2.11. Variación a través del tiempo de la relación del tejido vivo (hojas) y el peso seco total para los cuatro grupos de variedades de arroz (Introducciones, Cica's, liberadas para los Llanos Orientales y Oryzica's). CIAT, Palmira (Valle).

Los índices de crecimiento Tasa de Crecimiento Relativo (TCR), Tasa de crecimiento del Cultivo (TCC), Tasa de Asimilación Neta (TAN), Relación del Área Foliar (RAF), Duración del Área Foliar (DUAF), calculados para cada variedad en los dos semestres, aparecen en las Figuras 2.12 a la 2.16.

En la Figura 2.12, se observan los valores promedios de la Tasa de Crecimiento Relativo (TCR), una medida de la eficiencia en la producción de tejido nuevo; para el grupo de las variedades introducidas (Bue Bonnet 50, IR 8 e IR 22); durante el semestre A, este índice fue similar para las tres variedades en las edades muestreadas, excepto para IR 22, que presenta un incremento alrededor de los 45 dde y una caída alrededor de la floración. Mientras que la variedad Blue Bonnet 50 presentó una mayor TCR que las demás variedades introducidas en el semestre B, siendo favorecida la producción de tejido nuevo por las condiciones ambientales de este semestre, la cual solamente disminuyó alrededor de la floración.

En el grupo de las variedades Cica's, se observa que durante el semestre A, la variedad Cica 9, presenta un alto valor hasta los 30 después de la emergencia (dde), luego disminuye con respecto al grupo de las variedades Cica's, aumenta alrededor de los 50 días y decrece nuevamente cerca de la floración, mientras que durante el semestre B sus valores promedios de la TCR no son tan variables y son muy similares a la variedad Cica 8. Por su parte, las variedades Cica 4 y Cica 7, presentan unos valores de TCR muy similares a través del tiempo y en los dos semestres.

Entre las variedades del grupo de las Oryzica's y la Línea 2 de Semillano, los valores de la TCR presentaron una tendencia más heterogénea, especialmente en el semestre A, siendo Oryzica-1 la variedad más uniforme en ambos semestres. Por su parte, la variedad Oryzica 2, fue afectada en sus valores promedios de TCR por las condiciones ambientales del semestre A, mientras que las variedades Oryzica 3 y la Línea 2 presentan un comportamiento similar en esta tasa de crecimiento a través del tiempo y en los dos semestres.

Las variedades liberadas para los Llanos Orientales (Metica 2, Oryzica Llanos 4 y O. Llanos 5), presentan una homogeneidad de los valores para las tres variedades hasta los 60 dde y luego de esta edad del cultivo, en el semestre A, ocurre una caída en la producción de tejido nuevo para la variedad O. Llanos 4 y alrededor de la floración aumenta sus valores, logrando el más alto dentro del grupo mencionado; situación contraria le ocurre a esta variedad en el semestre B, donde alrededor de los 60 dde presenta los valores más altos en TCR y alrededor de la floración presenta un decrecimiento en este índice de crecimiento.

En términos generales, los valores más altos de TCR son obtenidos por las variedades bajo las condiciones ambientales del semestre A.

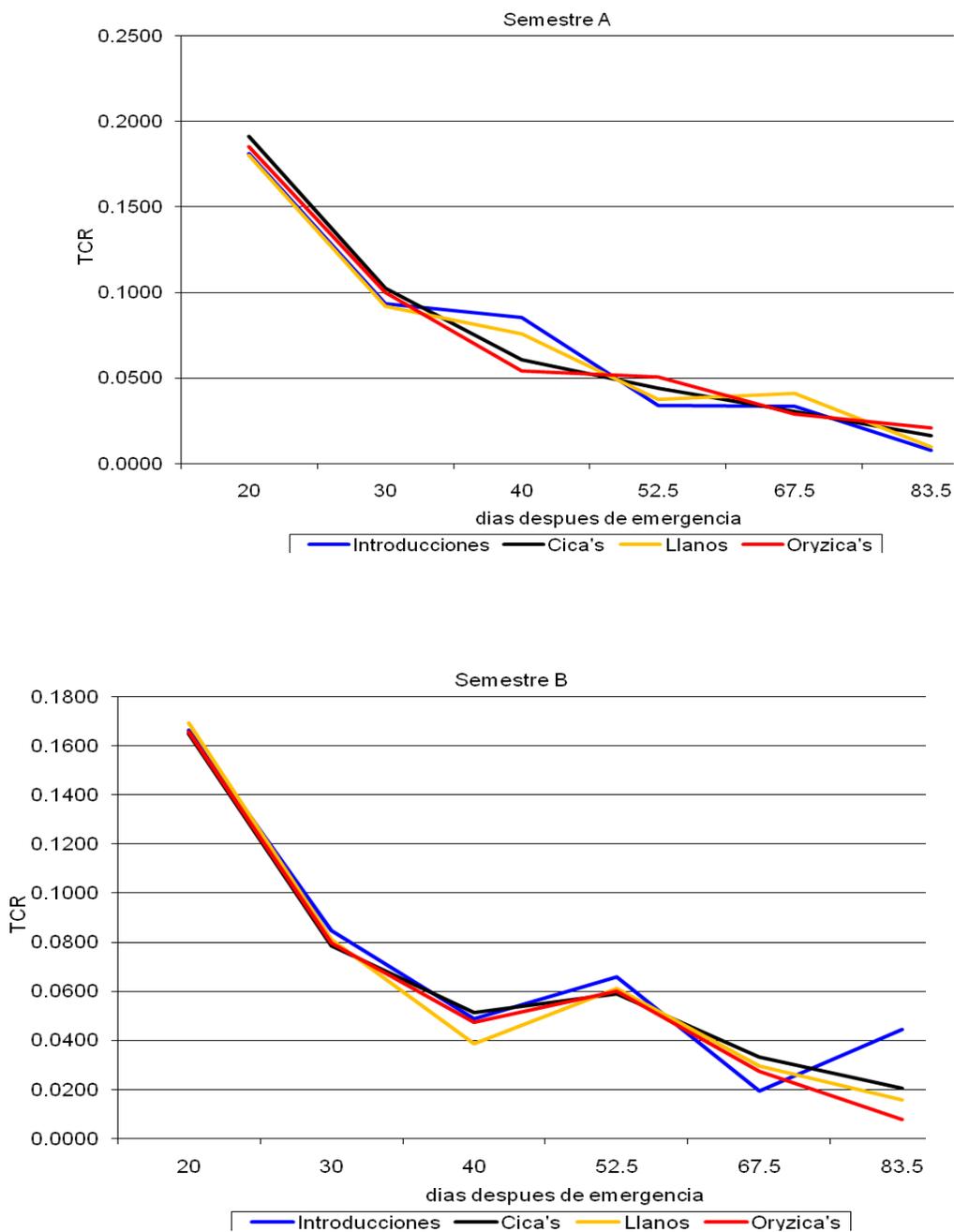


Figura 2.12. Tasa de Crecimiento Relativo (TCR) para los cuatro grupos de variedades de arroz (Introducciones, Cica's, liberadas para los Llanos Orientales y Oryzica's). CIAT, Palmira (Valle).

La Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC), una medida de la producción de materia seca por unidad de área en un período de tiempo, permite apreciar diferencias entre las variedades. En la Figura 2.13, se puede observar que las condiciones ambientales del semestre A favorecieron a las variedades Cica 8, Oryzica 1 y O. Llanos 4, mientras que perjudicaron a IR 22, Cica 9, O. Llanos 5 y Metica 2, especialmente alrededor de la floración.

Por su parte, las condiciones ambientales del semestre B favorecieron la Tasa de Crecimiento del Cultivo de las variedades IR 22, IR 8, Cica 7, O. Llanos 5 y Metica 2; mientras que la variedad más afectada en sus valores promedios de TCC por las condiciones ambientales del semestre B fue O. Llanos 4. En general, los valores de TCC fueron más altos durante el semestre B para la mayoría de las variedades. La variedad con la mayor consistencia y menor variación a través del período vegetativo en los dos semestres fue Blue Bonnet 50.

Respecto a la Tasa de Asimilación Neta (TAN), que representa la eficiencia en la producción de la planta, se puede observar en la Figura 2.14, que hubo una mayor consistencia durante el semestre B para la mayoría de las variedades pero mayores promedios de la TAN durante el semestre A.

Se observa que en el semestre A, alrededor de la floración, se presenta un incremento de la TAN para la variedad IR 8 y una caída notable para la variedad IR 22, mientras que en el semestre B no hubo tal comportamiento. Entre tanto, en el grupo de las variedades Cica's, Cica 4 y Cica 7, Figura 21, presentan valores promedios de TAN similares en ambos semestres y la variedad con mayor variación, especialmente en el semestre A fue Cica 9, donde presentó una caída en su promedio alrededor de la floración.

En el grupo de las variedades Oryzica's y la Línea 2 de Semillano, la variedad Oryzica 3 obtiene ligeramente unas tasas más altas que las demás variedades. Comparando los dos semestres, se observa en esta Figura que se presentó una mayor variabilidad en los promedios de TAN para este grupo de variedades durante el semestre A.

Respecto al grupo de las variedades liberadas para los Llanos Orientales, se presentó baja variabilidad en los valores de TAN para las variedades hasta alrededor de los 50 días de edad y a partir de esta edad se presentaron diferencias entre sí, por ejemplo, alrededor de la floración en el semestre A, la tasa más alta fue para O. Llanos 4 y las otras 2 variedades, Metica 2 y O. Llanos 5, presentaron caída en sus valores de TAN; situación opuesta durante el semestre B, donde la caída fuerte en la tasa fue para O.

Llanos 4, mientras que Metica 2 y O. Llanos 5, presentaron un pequeño incremento alrededor de la floración.

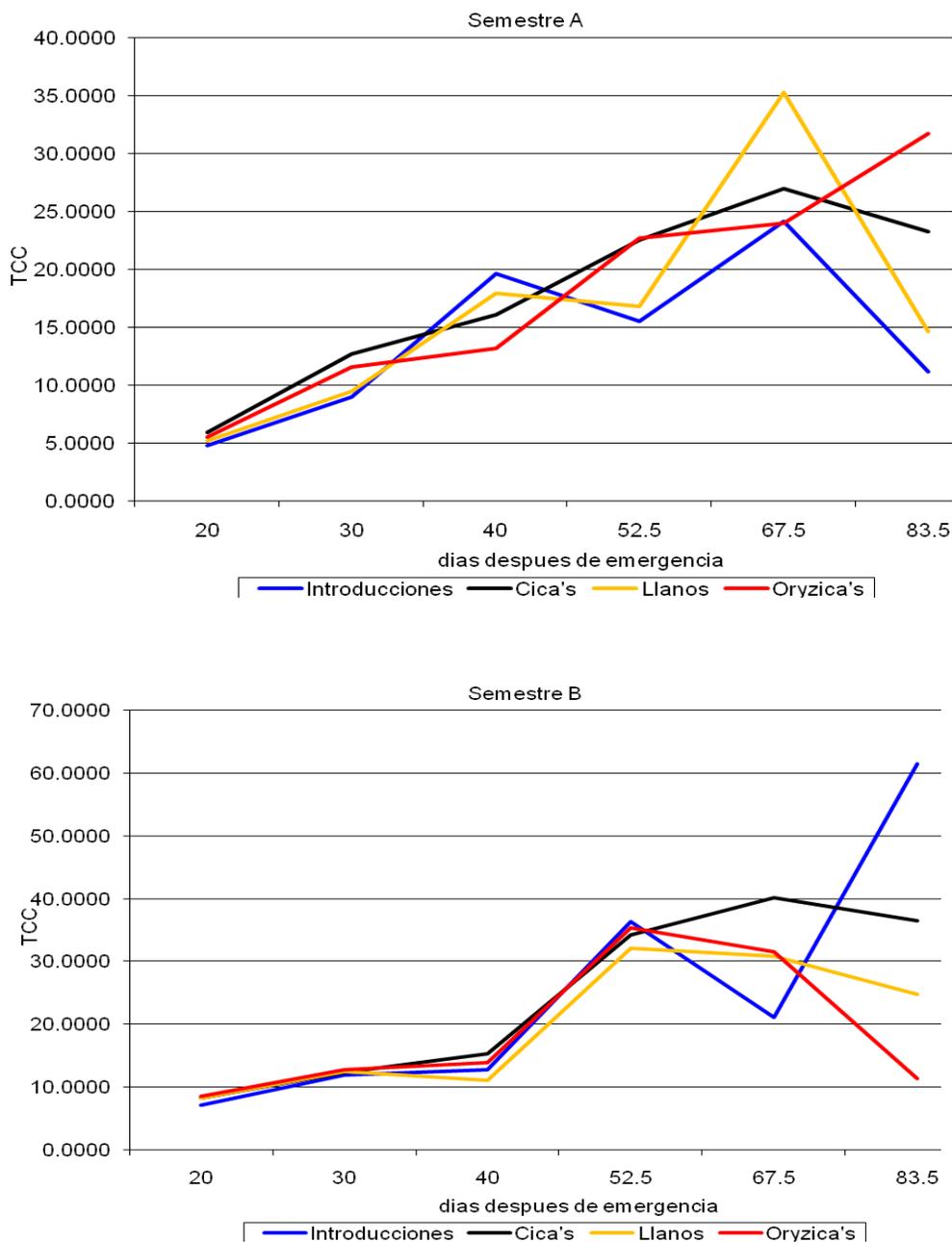


Figura 2.13. Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC) para los cuatro grupos de variedades de arroz (Introducciones, Cica's, liberadas para los Llanos Orientales y Oryzica's). CIAT, Palmira (Valle).

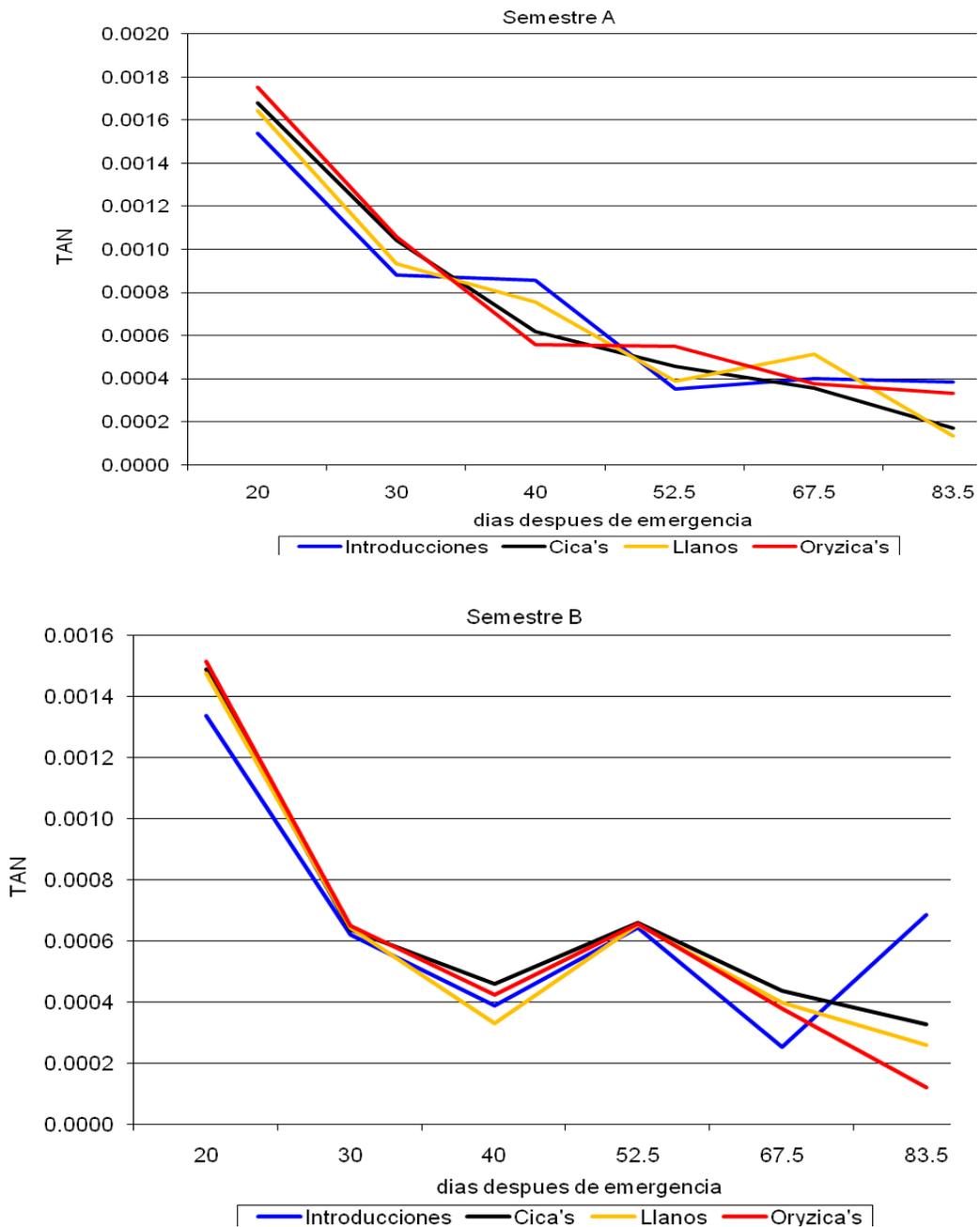


Figura 2.14. Tasa de Asimilación Neta (TAN) para los cuatro grupos de variedades de arroz (Introducciones, Cica's, liberadas para los Llanos Orientales y Oryzica's). CIAT, Palmira (Valle).

En la Figura 2.15, aparecen los valores de la Relación del Área Foliar (RAF), para los diferentes grupos de variedades; esta tasa es una estimación de la proporción del área foliar cuya fotosíntesis mantiene a toda la planta. Se puede observar que los mayores promedios se registraron para el semestre B y con una menor variabilidad entre las variedades.

La variedad IR 8 presenta los mayores promedios de RAF en los dos semestres, lo que confirma la eficiencia fotosintética de esta variedad, contrario a las otras dos variedades introducidas, Blue Bonnet 50 e IR 22. Dentro del grupo de las variedades Cica's, se destaca a la variedad Cica 8, siendo consistente en sus promedios en los dos semestres evaluados.

Por su parte, las variedades del grupo de las Oryzica's y la Línea 2 de Semillano, presentan diferencias entre sí durante los dos semestres y a través de las épocas de evaluación. Se destaca que la variedad Oryzica 1 desde las primeras épocas de evaluación presenta las mayores tasas RAF y solo un poco antes de la floración ocurre una disminución, situación contraria la presentan las variedades Línea 2 y Oryzica 3, que presentan valores más bajos en las primeras épocas pero se incrementan alrededor de la floración.

Para el último grupo de variedades, las liberadas para los Llanos Orientales las mayores tasas de RAF las presentó la variedad Metica 2 aunque alrededor de la floración tomaba valores similares a las otras dos variedades; mientras que la variedad de menor Relación del Área Foliar en los dos semestres fue O. Llanos 5.

La Duración del Área Foliar (DUAF), una medida de la senescencia, aparece registrada en la Figura 2.16. Se presentó una alta concordancia entre los dos semestres, donde las variedades presentaron respuestas similares en las primeras épocas y solo un poco antes de floración muestran las diferencias en la duración del área foliar, así por ejemplo, las variedades que presentan una disminución de esta tasa alrededor de la floración son las variedades IR 8, Cica 9, Oryzica 1 y O. Llanos 4.

Entre tanto, las variedades Blue Bonnet 50, Cica 4, Cica 8, Cica 7, Línea 2, Oryzica 3, Oryzica 2, Metica 2 y O. Llanos 5, presentan una mayor duración de área foliar en los dos semestres, sin presentar una caída alrededor de la floración como las primeras variedades mencionadas.

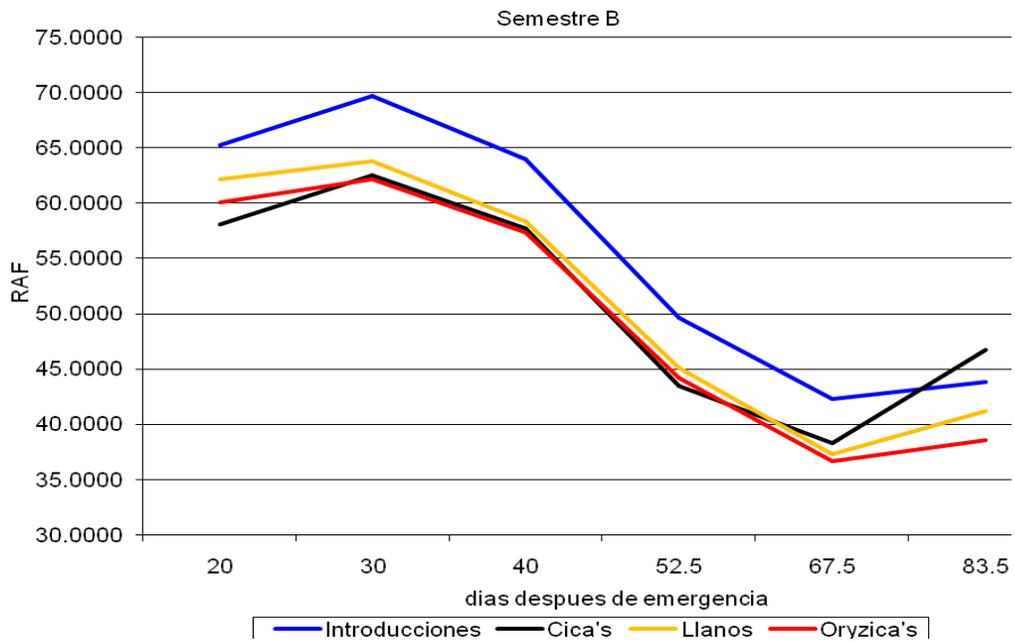
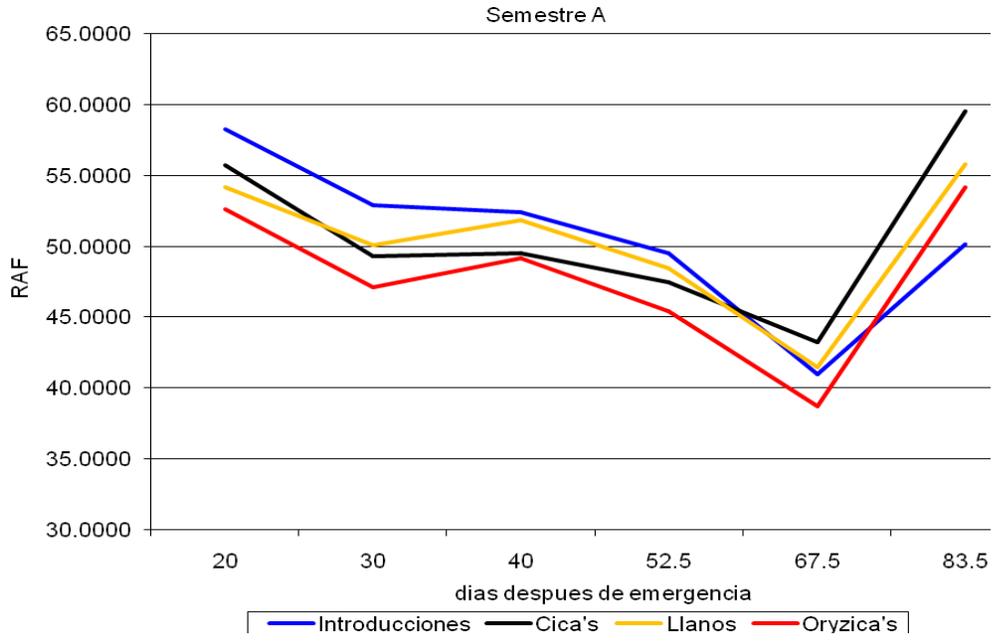


Figura 2.15. Relación de Área Foliar (RAF) para los cuatro grupos de variedades de arroz (Introducciones, Cica's, liberadas para los Llanos Orientales y Oryzica's). CIAT, Palmira (Valle).

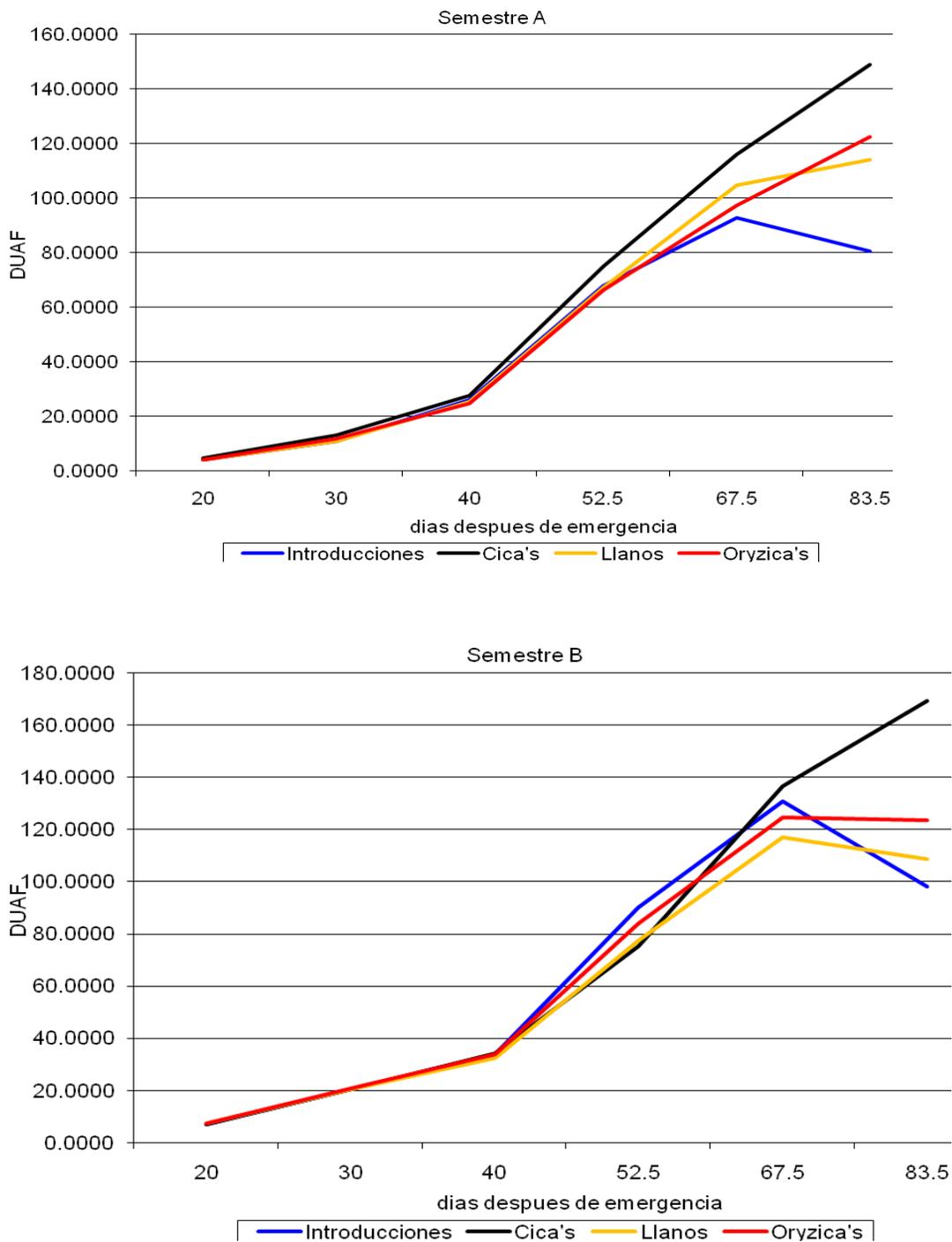


Figura 2.16. Duración del Área Foliar (DUAF) para los cuatro grupos de variedades de arroz (Introducciones, Cica's, liberadas para los Llanos Orientales y Oryzica's). CIAT, Palmira (Valle).

En la Figura 2.17, aparecen los valores promedios para el Índice de Área Foliar (IAF), el cual describe el tamaño del aparato asimilador de una comunidad de plantas; se puede observar que el IAF fue afectado por las condiciones ambientales de los semestres evaluados, presentando diferencias entre las variedades a partir de los 45 días de edad en el semestre A y a partir de los 60 dde en el semestre B. Dentro de las variedades con los mayores Índices de Área Foliar, se destacan Cica 4, Cica 8, Cica 9, Cica 7 y Línea 2, tanto en el semestre A como en el B, mientras que la variedad con el menor Índice de Área Foliar en los dos semestres fue Oryzica 2.

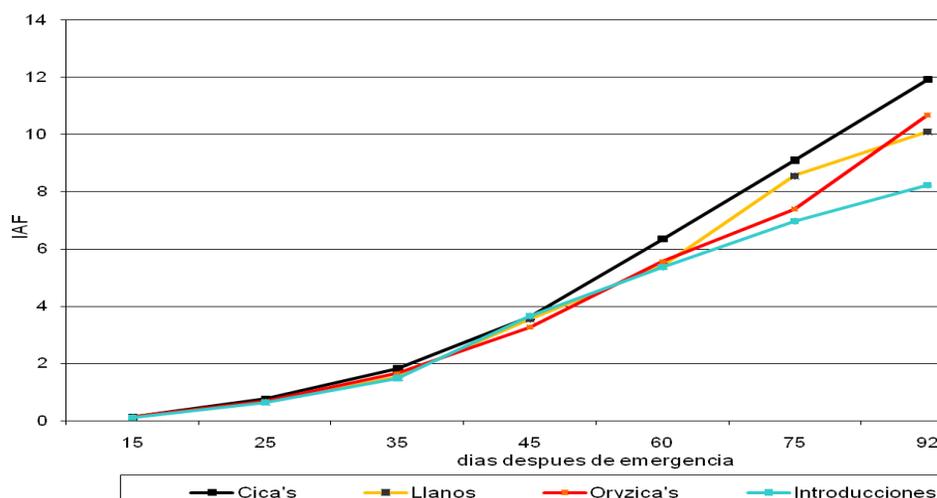
Cabe destacar que para algunas de las variedades ocurre una disminución del IAF antes de la floración en el semestre B, después de los 75 dde, lo cual es desfavorable para la producción de fotosintatos porque debería permanecer el mayor tiempo posible en actividad fotosintética; estas variedades fueron Cica 9, Blue Bonnet 50, O. Llanos 4, Cica 4, Oryzica 3 y Oryzica 1. Al comparar los dos semestres evaluados, no se presentó una claridad en el efecto del Índice de Área Foliar sobre el rendimiento, puesto que solo las variedades Cica 8 y Cica 9, obtuvieron un alto IAF y un rendimiento sobresaliente.

Respecto al número de macollas/planta y número de macollas/m², Figuras 2.18 y 2.19, respectivamente, se observa que se presentan diferencias entre la mayoría de las variedades evaluadas, las cuales se hacen más evidentes a partir de los 35 dde. En estas variables, se destacan las variedades introducidas IR 8 y Blue Bonnet 50, las cuales presentan un tipo de planta contrastante; por ejemplo, IR 8 presenta valores máximos alrededor de los 75 dde y 60 dde en el semestre A y B, respectivamente, mientras que Blue Bonnet 50 presenta a través del período vegetativo el menor número promedio de macollas, máximo 4 macollas en el semestre A y máximo 3 macollas/planta en el semestre B.

Durante el semestre A, las variedades Línea 2, Cica 9 y Oryzica 1, presentan los mayores promedios en el número de macollas a los 35 dde pero luego disminuyen al momento de floración. Las demás variedades de arroz seleccionadas en Colombia, presentan promedios consistentes a través del período vegetativo, sobresaliendo O. Llanos 5 con 4.5 macollas/planta a los 75 dde. Durante el semestre B, se destacan las variedades Cica 4 y Cica 8, con un alto promedio en el número de macollas a los 45 dde, estos valores disminuyen alrededor de la floración. Entre tanto, las variedades Blue Bonnet 50, Oryzica 2 y O. Llanos 4, presentan a esa misma edad los promedios más bajos, entre 940 y 980 macollas/m².

En el nuevo tipo de planta, propuesto por el IRRI, se busca una variedad con un número de macollas de intermedio a bajo. Sin embargo, dentro de los criterios de selección del FLAR, se busca una variedad con un mayor macollamiento; para esto último, se deben seleccionar genotipos con baja interacción con el ambiente para que la mayoría de estas macollas sean efectivas.

Semestre A



Semestre B

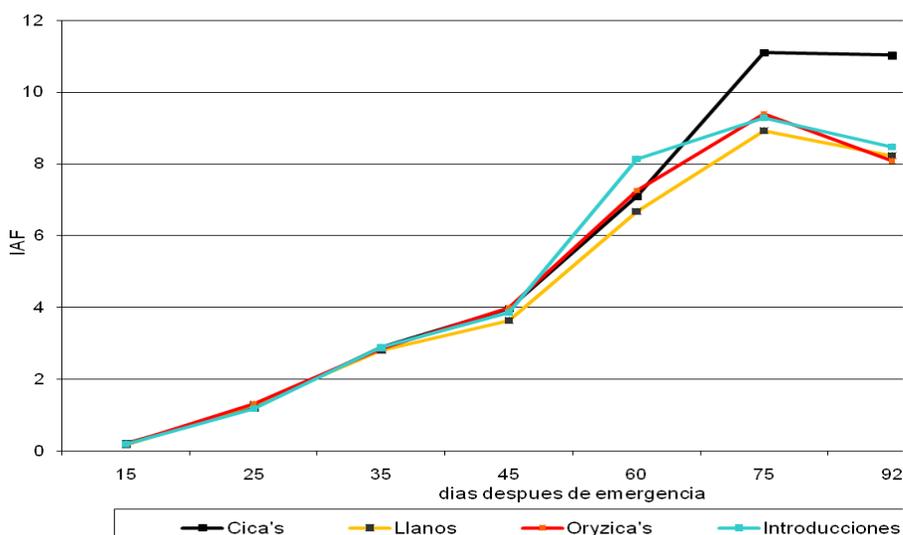
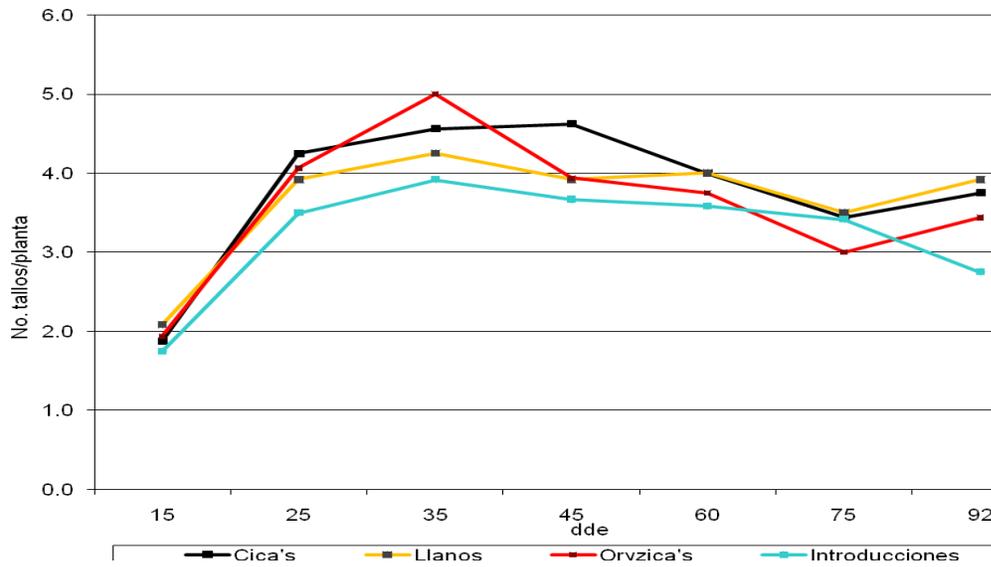


Figura 2.17. Índice de Área Foliar (IAF) para para los cuatro grupos de variedades de arroz (Introducciones, Cica's, liberadas para los Llanos Orientales y Oryzica's). CIAT, Palmira (Valle).

Semestre A



Semestre B

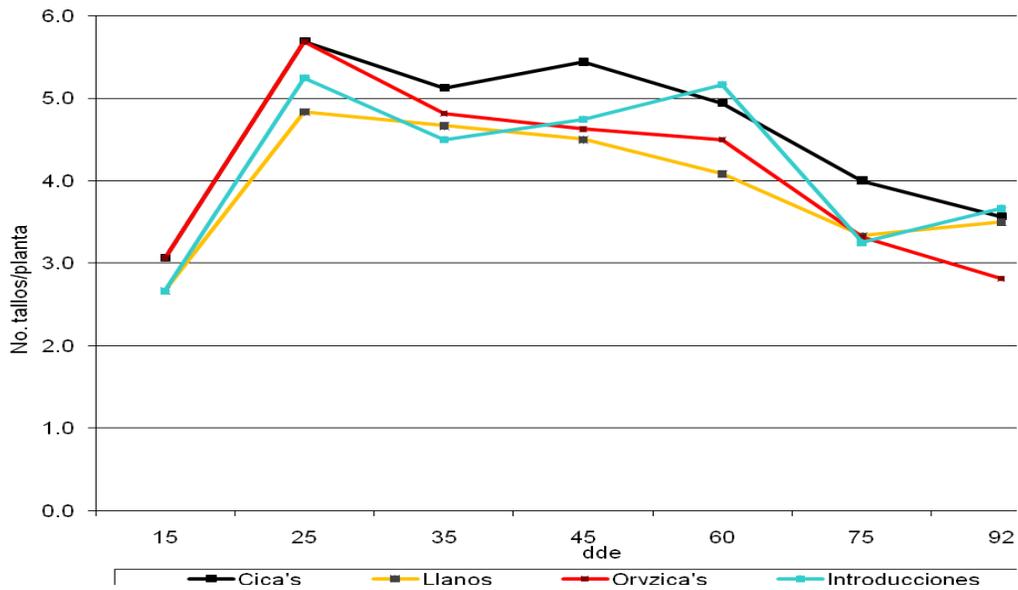
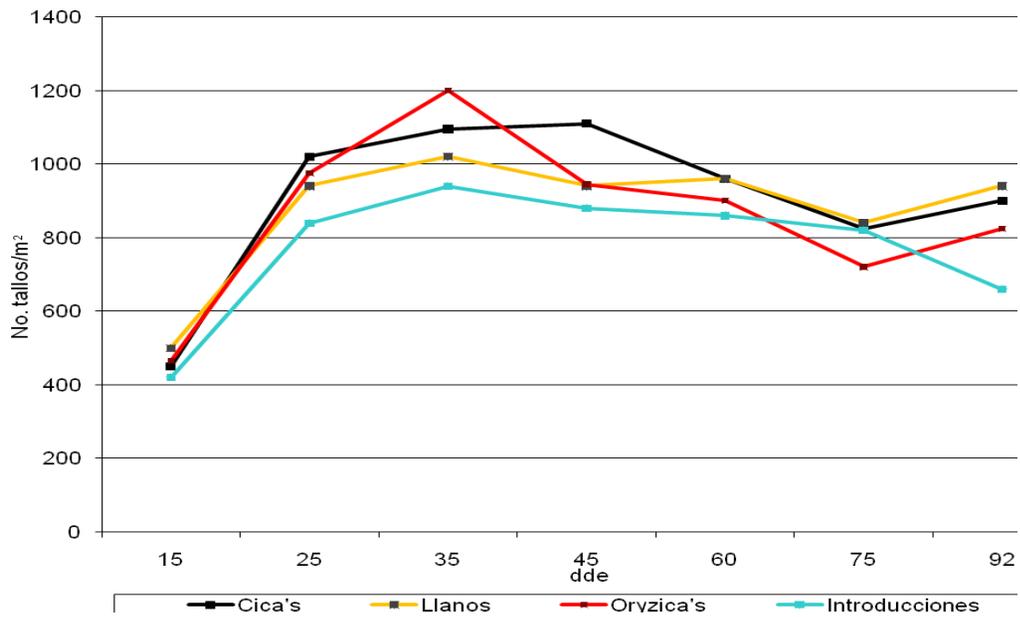


Figura 2.18. Variación a través del tiempo del No. de tallos/planta para los cuatro grupos de variedades de arroz (Introducciones, Cica's, liberadas para los Llanos Orientales y Orzica's). CIAT, Palmira (Valle).

Semestre A



Semestre B

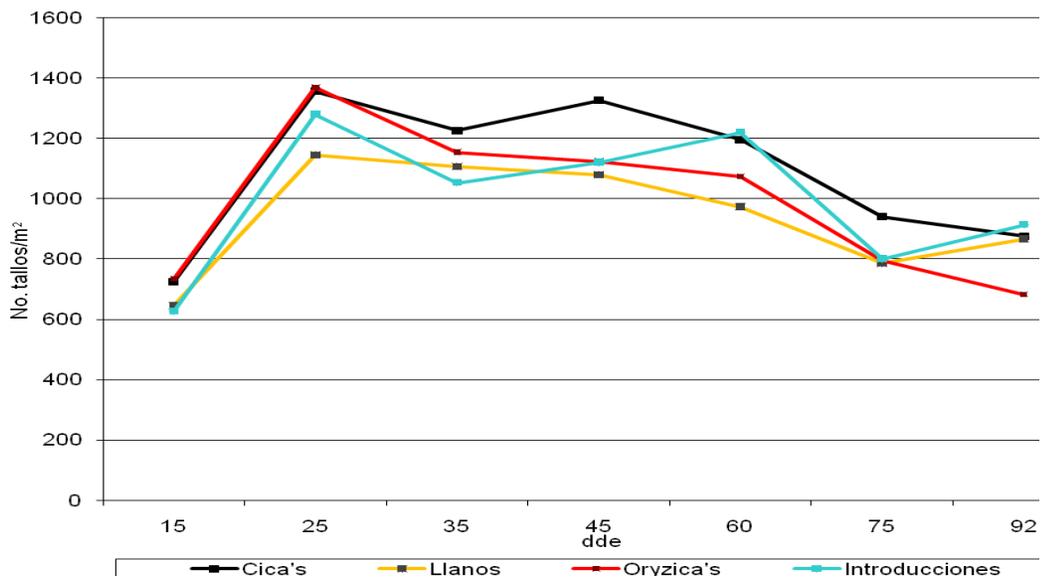


Figura 2.19. Variación a través del tiempo del No. de tallos/m² para los cuatro grupos de variedades de arroz (Introducciones, Cica's, liberadas para los Llanos Orientales y Orzica's). CIAT, Palmira (Valle).

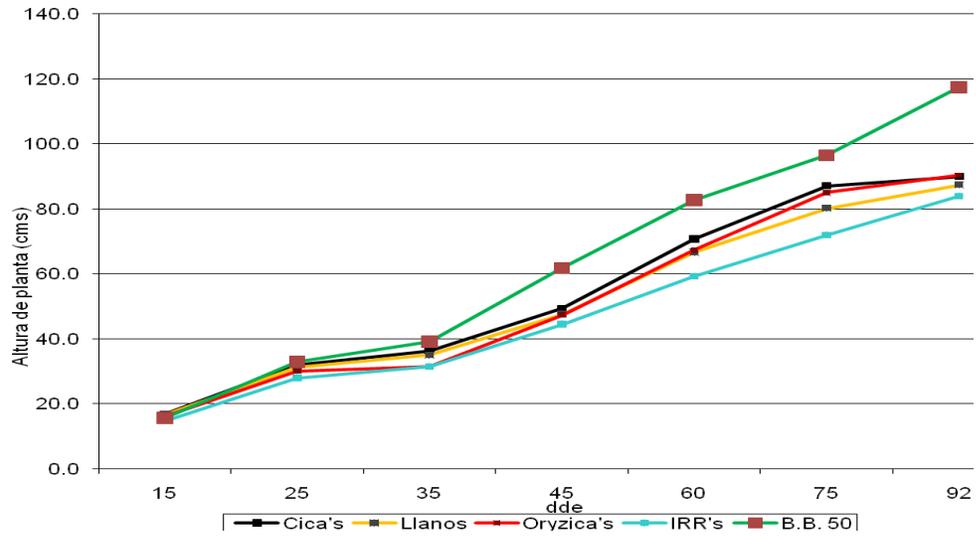
En las Tablas 1 y 2 del Anexo C, aparecen los análisis de varianza combinados para las variables número de macollas/planta y número de macollas/m², de los cuales se desprende que se presentaron diferencias altamente significativas entre los semestres, afectando las expresiones fenotípicas de estas variables. Así mismo, se presentaron diferencias altamente significativas entre las 14 variedades evaluadas, presentándose variabilidad entre ellas. Como consecuencia de lo anterior, se presentaron diferencias altamente significativas para la interacción entre el semestre y la variedad, es decir que algunas variedades presentaron un número de macollas diferente para los dos semestres. Por último, como era de esperarse el número de macollas/planta ó por m² varía según la edad del cultivo y se afecta por las condiciones ambientales del semestre con diferentes respuestas según la variedad.

En la Figura 2.20, aparecen los valores promedios para la altura de planta de las 14 variedades de arroz liberadas para Colombia. Las diferencias entre las variedades son más consistentes a través del período vegetativo durante el semestre B, siendo condiciones más favorables para la expresión fenotípica en la altura de planta, mientras que en el semestre A, se presentan en general valores más bajos para todas las variedades; se destaca que la variedad Cica 9 presenta valores cercanos a la variedad introducida de porte alto, Blue Bonnet 50, mientras que la variedad O. Llanos 4, seleccionada en Colombia, presentó valores bajos y similares a las variedades introducidas de porte bajo, IR 8 e IR 22.

Como era de esperarse, en la evolución del crecimiento, la primera variedad introducida, Blue Bonnet 50, presentó la mayor altura de planta en los dos semestres debido a que corresponde a un tipo de planta de porte alto, mientras que las otras variedades introducidas IR 22 e IR 8, de porte bajo, presentaron la menor altura de planta tanto en el semestre A como en el B.

El análisis de varianza para esta variable, Tabla 3 del Anexo C, indica que existen diferencias altamente significativas entre los semestres, entre las variedades y entre las edades del cultivo, es decir que las condiciones ambientales del semestre influyen en la expresión de la altura de planta. Esto se corrobora con las interacciones, semestre*variedad, semestre*edad, variedad*edad y semestre*variedad*edad, las cuales arrojaron diferencias altamente significativas para las dos primeras y a nivel significativo para la última interacción.

Semestre A



Semestre B

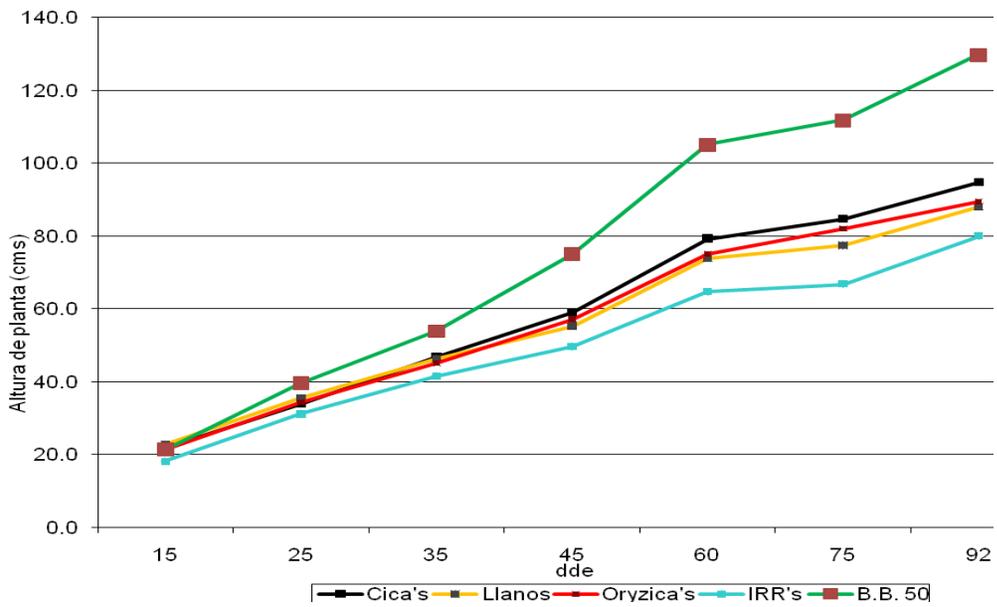


Figura 2.20. Variación a través del tiempo de la altura de planta (cms) para los cuatro grupos de variedades de arroz (Introducciones, Cica's, liberadas para los Llanos Orientales y Oryzica's). CIAT, Palmira (Valle).

2.7 AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus más sinceros agradecimientos a las siguientes personas:

Albert J. Fischer, I.A., Ph. D. Jefe del programa de Fisiología de arroz (CIAT), por su acertada dirección del trabajo, en la primera etapa del trabajo.

Franco Alirio Vallejo Cabrera, I.A., Ph. D. Director del trabajo y profesor titular de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, por su acertada dirección, en la fase final del trabajo.

Diosdado Baena García, I.A., Ph. D. Director del trabajo y Profesor asociado de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, por su invaluable colaboración.

Sara Mejía de Tafur, I.A., Ph. D. Profesora asociada de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, por sus importantes observaciones.

Edgar Ivan Estrada Salazar, I.A. M. Sc. Profesor asociado de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, por sus oportunas correcciones.

A los Ingenieros Héctor V. Ramírez, I.A. M. Sc. y Jaime Lozano F., I.A. M. Sc., Investigadores asociados del programa de fisiología de arroz (CIAT), por la valiosa colaboración prestada.

Personal de los programas de Fisiología de arroz y Utilización de yuca del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

2.8 BIBLIOGRAFIA

Ashley, D.A. et al. 1965. Relation of cotton leaf area index to plant growth and fruiting. *Agron. J.* 57 (1): 61-64.

Bhatt, G.M. 1977. Response to two-way selection for harvest index in two wheat (*Triticum aestivum* L.) crosses. *J. of Aust. Agric. Res.* 28: 29-36.

Clavijo, J. 1989. Análisis de crecimiento en malezas. *Revista COMALFI* 16: 12-16.

Dingkuhn, M. et al. 1991. Concepts for a new plant type for direct seeded flooded tropical rice. In: Directed seeded flooded rice in the tropics, selected

papers from the International Rice Research Conference, Philippines. p 17-38.

Hunt, R. 1978. Plant Growth Analysis. Studies in Biology No. 96. The Institute of Biology's. 67 p.

_____. 1982. Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis. University Park Press. 249 p.

Jaramillo, A. 1986. Modelos matemáticos por computador. Publicación especial. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Palmira.

Jorgensen, C.J., y L.V. Malaver. 1968. Crecimiento y desarrollo de frutas y legumbres. En: Introducción a la fisiología de cultivos tropicales. Universidad Nacional de Colombia e ICA. Publicación miscelánea No. 9. p 380-390.

Malaver, L.V. 1973. Estudio comparativo del crecimiento y desarrollo de tres variedades de maíz (*Zea mays* L.) bajo condiciones de campo. Tesis de Maestría. Colegio de posgraduados de Chapingo, México. p 3-10.

Muñoz, J.E.; Baena, D. y Bruzón, S. 1990. Estudio del crecimiento de los organismos vivientes. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Palmira. 36 p.

Radford, P.J. 1967. Growth analysis formulae: their use and abuse. Crop Sci. 7 (3): 171-175.

Rincón, L.A. 1988. Modelos de regresión y su programación con uso del computador. Trabajo de promoción para profesor asociado. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Palmira.

Sestak, Z.; Catsky, J., and P. G. Jarvis. 1971. Plant photosynthetic production. In: Methods of growth analysis. Junk N.V. Publishers the Hague. p 343-384.

Solorzano, P.R. 1976. Determinación del área foliar en sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) a diferentes edades. Agronomía Tropical (Venezuela) 26 (1): 39-45.

Torres de la Noval, W. 1984. Análisis del crecimiento de las plantas. Reseña. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. San José de las Lajas, Cuba. 38 p.

Went, F.W. 1957. The experimental control of plant growth, Waltham. Chron. Bot. 3 (5): 202-221.

Yoshida, S. 1972. Physiological aspects of grain yield. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 23: p 437-464.

_____. 1976. Physiological consequences of altering plant type and maturity. *In: Proceedings of the International Rice Conference Held.* IRRI. Mimeographed.

_____. 1981. *Fundamentals of rice crop science.* IRRI. 269 p.

Zavala, G.F. 1982. Interrelación entre los caracteres fisiotécnicos del híbrido y sus progenitores sobre el rendimiento de grano y estimación de parámetros genéticos en sorgo para grano. Tesis de maestría. Colegio de posgraduados de Chapingo, México. 310 p.

3. EVOLUCION DEL RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES EN 14 VARIETADES DE ARROZ (*Oryza sativa* L.) REPRESENTANTES DE DIVERSOS CICLOS DE MEJORAMIENTO EN COLOMBIA³

JAVIER FERNANDO OSORIO SARAVIA⁴

3.1 COMPENDIO

Durante los últimos años, el cultivo del arroz de riego en Colombia ha alcanzado un “techo” aparente en el rendimiento, siendo interesante la búsqueda de características asociadas al rendimiento, que permitan seleccionar genotipos con mayor eficiencia fisiológica. En el CIAT, bajo condiciones ambientales de semestres diferentes, se llevaron a cabo dos ensayos de campo con el objetivo de analizar la variación de las características y del tipo de planta a través del proceso de selección y su posible relación con incrementos de rendimiento. Los ensayos se establecieron bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Las características evaluadas fueron el rendimiento de grano y sus componentes. Se realizaron análisis de varianza y la prueba diferencia de medias según Tukey. Se comprobó el crecimiento mínimo del rendimiento de grano a través de los ciclos de selección debido principalmente a la estrecha base genética de las variedades colombianas y las posibilidades fisiológicas para superar esta barrera están relacionadas con el mejoramiento de las limitaciones en la relación fuente-vertedero (mayor duración del follaje fotosintéticamente activo y mayor tamaño de las panículas).

Palabras Claves: *Oryza sativa* L., rendimiento de grano, componentes del rendimiento.

3.2 ABSTRACT

During the past few years, the crop of the rice of irrigation in Colombia has reached a “plateau apparent” in the yield, being interesting the search of physiological characteristics associated to the yield, that allow to select genotypes with greater

³ Investigación de tesis presentada como requisito parcial para optar al título de Maestría.

⁴ Estudiante de Maestría en Ciencias Agrarias con énfasis en Fitomejoramiento. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. jfosorio@ut.edu.co.

physiological efficiency. In the CIAT, under environmental conditions of different semesters, two trial of field with the objective to analyze the variation of the characteristics and of type of plant through process of selection and its possible relation with increases of yield were carried out. The trials settled down at random under an experimental design of complete blocks at random with four repetitions. The evaluated characteristics were grain yield with their components. Variance analyses were made, and the proves difference of average according to Tukey. The minimum growth of the grain yield was verified mainly through the cycles of selection due to the narrow genetic base of the Colombian varieties and the physiological possibilities to surpass this barrier are related to the improvement of the limitations in the relation source-sink (greater duration of the photosynthetically active foliage and greater size of panículas).

Key Words: *Oryza sativa* L., grain yield, yield components.

3.3 INTRODUCCION

Durante los últimos veinte años, el cultivo del arroz irrigado a través de los diversos ciclos de mejoramiento, ha alcanzado un "techo" aparente en el rendimiento cada vez más difícil de superar. Se hacen necesarios estudios sobre características fisiológicas y de tipo de planta con potencial para aumentar y mantener los rendimientos, tales como la partición de carbohidratos y de nitrógeno, observando su variación a través del proceso de selección y su posible relación con incrementos de rendimiento.

El potencial de rendimiento es el resultado de la interacción de una serie de características que hacen que una variedad sea rendidora. En mejoramiento de arroz se busca elevada capacidad de macollamiento, tolerancia al vuelco, hojas erectas de color verde oscuro, ciclo intermedio, senescencia tardía, panículas de tamaño adecuado, grano pesado y poca esterilidad". (FLAR, 2006).

La obtención de plantas con un alto índice de cosecha, uno de los objetivos de la revolución verde, parece haber provocado reducción en el crecimiento vegetativo pero un aumento en la eficiencia fisiológica del follaje (p. ej. plantas fotosintéticamente más activas). Es necesario verificar si continúa este tipo de tendencias, o si es posible incrementar aún más esa eficiencia, y si esto es de esperar que se asocie con incrementos de rendimiento.

Como objetivo principal se planteó, el comprobar la existencia de un "estancamiento" o aumento mínimo de los rendimientos de las nuevas variedades de arroz en los últimos años e identificar los componentes del rendimiento asociados a este comportamiento.

3.4 MARCO TEORICO

De acuerdo con Beachell, Khush y Aquino (1972) y Rutger *et al.* (1976), los objetivos más importantes de un programa de mejoramiento de arroz, son la combinación de una corta duración del crecimiento con alto rendimiento y el mejoramiento del tipo de planta, Agregan Beachell y Jennings (1965) y Yoshida (1976), que los cultivares precoces tienen más alta producción de grano por día, mejor eficiencia en el uso del agua, buena respuesta al nitrógeno y mayor economía en tiempo y labores.

Para Vergara *et al.* (1966), una duración de crecimiento extremadamente corto podría ser desventajosa, ya que la fase vegetativa juega un papel importante en el desarrollo de la panícula y en el llenado de grano. Mientras que una duración del crecimiento muy larga, da como resultado un aumento en el peso de la planta, requiriendo por lo tanto un mayor suministro de nutrientes, particularmente de nitrógeno, así como también limita el espacio para la expansión del follaje.

Según Van Tran (1986), el rendimiento en grano está determinado desde el estado vegetativo hasta la fase de llenado, y por el estado de los componentes de rendimiento, tales como número de panículas por unidad de área, número de granos por panícula, porcentaje de esterilidad de las espigas y peso de grano.

Yoshida (1972), afirma que podría atribuirse una alta relación positiva, entre el rendimiento potencial y el incremento del índice de cosecha, al seleccionar plantas enanas y de tallos fuertes, en lugar de la selección para alto rendimiento.

De acuerdo con Peng *et al.* (1999), en los últimos 30 años, el mejoramiento convencional del arroz dentro del germoplasma *indica*, ha resultado en el mantenimiento de un potencial de rendimiento en áreas tropicales de cerca de 10 t/ha. Se calcula que el potencial de rendimiento teórico en ese tipo de medio ambiente es de 15,9 t/ha, lo que se basa en la cantidad total de radiación solar incidente durante la época de cultivo (Yoshida, 1981).

Basándose en dicho cálculo, pareciera que existe una gran brecha entre el potencial de rendimiento de los mejores cultivares disponibles y el rendimiento máximo teórico. El punto en cuestión es si dicha brecha se puede disminuir mediante el mejoramiento genético de cultivos o no. (Peng *et al.*, 1999).

Con el fin de romper esta barrera de rendimiento, se están investigando varias opciones, las cuales incluyen el desarrollo de un nuevo tipo de planta con una baja capacidad de macollamiento y grandes panículas de germoplasma tropical

japónica, al igual que la explotación de heterosis a través de híbridos intervarietales e intersubespecíficos. (Peng et al., 1999).

Peng and Kush (2003), cultivaron simultáneamente 44 cultivares de tipo *indica*, desarrollados por el IRRI, entre los cuales seleccionaron las principales variedades tradicionales y las líneas modernas más sobresalientes por rendimiento, para comparar bajo las mismas condiciones el potencial de rendimiento a través del tiempo. En dichos ensayos se midieron variables claves de crecimiento, rendimiento y componentes de rendimiento. La regresión del rendimiento versus al año de lanzamiento indicó un aumento anual en el rendimiento del arroz de 75kg/ha, lo que equivale a un aumento anual del 1%, basado en el rendimiento del IR8. El mayor rendimiento obtenido con los más recientes cultivares fue de 9 a 10 t/ha, lo que equivale al rendimiento obtenido con el IR8 y otros de los cultivares del IRRI, en estudios de campo realizados a finales de los años 60 y principios de los años 70 en los mismos sitios. Evidenciando la barrera de rendimiento mencionada arriba.

A pesar de que el mejoramiento convencional de arroz tipo *indica*, en las últimas tres décadas no ha mejorado el potencial de rendimiento del arroz, ha habido contribuciones importantes en cuanto a resistencia contra enfermedades e insectos y estabilidad del rendimiento. (Peng et al., 1999).

3.4.1 Nuevo tipo de planta propuesto por el IRRI. De acuerdo con Dingkuhn et al. (1991), el rendimiento en grano puede ser teóricamente aumentado al promover la generación de nuevos tipos de planta con patrones modificados de la partición de nitrógeno y asimilados, aumento del gradiente de concentración vertical de nitrógeno en el follaje y/o más larga la fase de llenado de grano. Los incrementos de rendimiento en grano con la combinación de estos cambios, pueden ser del orden del 25%. La posibilidad biológica de estos conceptos, sin embargo, requiere la verificación a través de estudios fisiológicos y análisis de la base genética existente en arroz.

Según Yoshida (1981) y Dingkuhn et al. (1991), los componentes del nuevo concepto de tipo de planta de arroz para una mayor eficiencia en el uso de insumos y un mayor potencial de rendimiento, incluyen:

- a. Aumento del desarrollo foliar durante la fase de establecimiento, en combinación de un macollamiento reducido. Así mismo, el prolongamiento de la longevidad fotosintética de las hojas superiores en especial de la hoja bandera.
- b. Bajo crecimiento foliar y aumento en la translocación de asimilados, desde las hojas a los tallos, en la última parte de la fase vegetativa e inicio de la reproductiva, junto con una alta concentración foliar constante de nitrógeno.

- c. Incremento en la pendiente del gradiente de concentración vertical de nitrógeno en el follaje (mayor cantidad en el estrato superior).
- d. Expansión en la capacidad de los tallos para almacenar asimilados y mejoramiento de la capacidad del vertedero, mediante un período prolongado de llenado de grano.

Dingkuhn *et al.* (1991), afirman que la senescencia ocurrida antes del llenado está influenciada por el rango del nitrógeno en los tejidos fotosintetizantes. Las variedades de arroz de siembra directa presentan menor concentración foliar de nitrógeno, presentando una tendencia de desarrollar deficiencias foliares del mismo; dicha situación, causa bajas TCR y TCC. Para maximizar el índice de cosecha y el rendimiento de grano de arroz sembrado al voleo, se requiere de un número moderado de macollas y un menor IAF, en combinación con una alta concentración foliar de nitrógeno. Mucho del nitrógeno foliar debería estar localizado en los sitios activos de fotosíntesis de la hoja bandera, mientras que el nitrógeno contenido en las hojas inferiores estaría disponible para ser removilizado hacia el grano. No obstante, se ha observado que el rendimiento está correlacionado con el contenido de nitrógeno de la hoja bandera, y el que está presente en las hojas inferiores, tiene poco o ningún efecto sobre el rendimiento. En otras palabras, el grano recibe el nitrógeno de las partes inferiores de la planta y su carbono de las hojas superiores.

Según Dingkuhn *et al.* (1991), si se logra extender la fase de llenado de grano de 30 a 39 ó 48 días se mejoraría tanto el rendimiento biológico como el rendimiento en grano, siempre que la concentración foliar de nitrógeno permanezca alta. Para evitar la autodestrucción por removilización y poder realizar un mayor incremento en el rendimiento de grano, se necesita de fuentes alternativas de nitrógeno, tales como las reservas de los tallos. La mayoría de los incrementos en rendimiento se dan por la combinación de una mayor duración del área foliar verde y una mayor tasa fotosintética.

Otro aspecto, es el que se refiere al tamaño potencial del vertedero de las variedades comunes, el cual no corresponde a la producción de asimilados que ofrecen los nuevos tipos de planta. Se requiere de grandes panículas con más espiguillas y un menor porcentaje de esterilidad (Dingkuhn *et al.*, 1991).

Sin embargo, según Peng *et al.* (1999), la producción de este nuevo tipo de planta no ha mejorado todavía el potencial de rendimiento debido al deficiente llenado del grano y una baja producción de biomasa.

3.4.2 Nuevas estrategias para aumentar el potencial de rendimiento. De acuerdo con Jennings (2005), los siguientes cuatro principios están relacionados con el incremento en el potencial de rendimiento en arroz:

a. El concepto de mejoramiento por tipo de planta para aumentar la capacidad de rendimiento no es tan útil. Los mejoradores desde los años 60 hasta hoy, han enfocado el aumento del potencial de rendimiento en afinar el tipo de planta. Sin embargo, ninguna de las múltiples variedades modernas liberadas sobrepasa a las originales semienanas por su capacidad de rendimiento, debido a que les faltan panículas más grandes para almacenar los carbohidratos que producen. La única excepción a la conclusión de que el mejoramiento por tipo de planta no redundará en una mayor capacidad de rendimiento, es el carácter de stay-green (siempre verde). Hay evidencias empíricas considerables de que la senescencia lenta y el follaje verde oscuro, son vitales para lograr una máxima capacidad de rendimiento.

b. Las variedades actuales tienen potencial de rendimiento no explotado todavía. La revolución agronómica le ha dado a las fincas incrementos en rendimientos entre 1 y 4 ton/ha con las variedades existentes y se esperan mayores ganancias posteriores, cuando se afinen las prácticas de manejo. Así, el problema de rendimiento, por muchos años, ha sido agronómico y no de origen genético.

c. La revolución agronómica, basada en el mejoramiento de las prácticas agronómicas, capturará esencialmente todo el potencial residual de rendimiento de las variedades actuales.

d. Se requiere de una nueva estrategia que busque mayor capacidad de rendimiento para extender la revolución agronómica. La clave para lograr la máxima capacidad de rendimiento reside en alcanzar la morfología de los híbridos; ellos no producen más panículas que las variedades convencionales; sin embargo, sus panículas son más grandes y en este punto reside su ventaja para el rendimiento.

En conclusión, la combinación de follaje siempre verde, panículas mejoradas (grandes y compactas) y un buen tipo de planta, caracterizado por tallos fuertes y un ciclo semitardío, tiene potencial para incrementar la capacidad de rendimiento de las variedades semienanas convencionales.

3.4.3 Stay green (hojas siempre verdes). Jennings *et al.*, proponen prolongar el período de la fotosíntesis activa del follaje (stay green), como una estrategia para aumentar el potencial de la producción. Esta hipótesis es análoga a la del tipo de planta como objetivo de mejoramiento en los años 60, antes de que el gen del semienanismo fuera descubierto.

Cao, 2001, relaciona la senescencia retrasada con el potencial de la producción. Las variedades indica de senescencia temprana fueron transformadas con un gene de la inhibición de la senescencia de Arabidopsis. Se encontraron incrementos extraordinarios en las tasas fotosintéticas y en el contenido de clorofila, en las variedades transformadas cuando se comparaban con los testigos no transformados. Estos incrementos dieron lugar a enormes ganancias en el número de macollas, número de semillas, rendimiento de la planta y biomasa, esto debido aparentemente por una fotosíntesis más eficiente; no hubo mención de las diferencias del color de la hoja en las plantas transformadas.

Jennings *et al.*, afirman que la variedad Fedearroz 50, presenta un período de madurez más largo y la hoja bandera grande contribuyen probablemente a su alta capacidad de producción; además del rasgo de siempre verde, implicando una mayor tasa fotosintética y el contenido aumentado de clorofila y nitrógeno, lo que estaría involucrado en esta capacidad de producción. El carácter de siempre verde es tan pronunciado que todas las hojas de la planta aparecen normales y funcionales en la madurez fisiológica del grano. Además de estas ventajas, Fedearroz 50, presenta otras características deseables, tales como:

- Excelente calidad molinera
- Buena tolerancia del grano a partirse en cosechas retrasadas
- Extraordinarios rendimientos de campo del 60-70% de las cosechas iniciales en un rango de 7 a 10 t/ha.
- Posible tolerancia incrementada a enfermedades tales como Rhynchosporium, Sarocladium, Helminthosporium, y el complejo de los agentes causales asociados al manchado del grano.

Por último, sostienen Jennings *et al.*, que la selección para el rasgo de hojas siempre verdes se debe combinar con hojas banderas grandes y erguidas, lo cual es válido y potencialmente un objetivo de mejoramiento de valor para incrementar el potencial de rendimiento.

3.5 MATERIALES Y METODOS

3.5.1 Localización y duración. El ensayo contempló dos siembras, semestre A y semestre B, en las instalaciones del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), localizado a una altura de 965 m.s.n.m. en el municipio de Palmira (Valle), que presenta las siguientes condiciones climáticas:

Cuadro 3.1. Valores promedios de las variables climatológicas durante el ensayo. CIAT, Palmira (Valle).

Parámetro	Semestre A	Semestre B
-----------	------------	------------

Precipitación promedio (mm)	460	640
Temperatura promedio (°C)	25	24
Humedad relativa promedio (%)	72	76
Radiación solar (MJoules/m ²)	16.2	15.9

Fuente: CIAT, 2000.

3.5.2 Variedades de arroz. En el Cuadro 2, aparecen relacionadas las 14 variedades liberadas en Colombia, representantes de los diversos ciclos de mejoramiento y utilizadas en el ensayo; las tres primeras son introducciones y las 11 restantes corresponden a selecciones ó hibridaciones.

Cuadro 3.2. Variedades de arroz utilizadas en el ensayo.

Año	Nombre	Origen	Genealogía	Cruzamiento	Clasificación	Porte
1951	B. Bonnet 50	Texas-USA	Desconocida	Desconocido	Introducción	Alto
1966	IR 8	IRRI	IR 8-288-3	Peta//DGWG	Introducción	Enano
1969	IR 22	IRRI	Desconocida	Desconocido	Introducción	Enano
1971	Cica 4	CIAT-ICA	IR930-31-1-1B	IR8/IR12-178-2-3	Selección	Semienano
1976	Cica 7	CIAT-ICA	P 881-19-24-12-1B-6-1B	IR22//IR930-147-8/Colombia 1	Hibridación	Semienano
1976	Cica 9	CIAT-ICA	P 901-22-11-2-6-2-1B	IR665-23-3-1/P894	Hibridación	Semienano
1978	Cica 8	CIAT-ICA	P 918-25-1-4-2-3-1B-1131-1	Cica 4//IR665-23-3/Tetep	Hibridación	Semienano
1981	Metica 2	CIAT-ICA	P 1044-86-5-3-1-2M	P738-137-3-1/P997	Hibridación	Semienano
1982	Oryzica 1	CIAT-ICA	P 1429-8-9M-2-1B-5	P1223/P 1225	Hibridación	Semienano
1984	Oryzica 2	CIAT-ICA	P 2023-F4-74-2-1B	Bg90-2//Cica 8/Cica 7	Hibridación	Semienano
1987	Oryzica 3	CIAT-ICA	P 2231-F4-138-6-2-1-1B	Cica 7//Cica 8/Pelita I-1	Hibridación	Semienano
1988	Línea 2	Semillano	Desconocida	Desconocido	Hibridación	Semienano
1989	O. Llanos 4	CIAT-ICA	P 5413-8-3-5-11	P4568/P 5003	Hibridación	Semienano
1989	O. Llanos 5	CIAT-ICA	CT5747-24-5-4-2	P5269/P 2060-F4-2-5-2	Hibridación	Semienano

Fuente: CIAT, (2006); IRRI, 2006, adaptado por el autor.

3.5.3 Métodos. Siguiendo el concepto del nuevo tipo de planta propuesto por Dingkuhn *et al.* (1991), se evaluaron las siguientes variables fisiológicas:

1. Tamaño, número y estructura de panículas.

Al inicio del cultivo, se realizó un raleo para dejar una población de 240 plantas/m².

3.5.4 Muestreos. En la época de cosecha sobre dos cuadros de 0.25 m², se determinó la altura de planta, peso seco de los diferentes órganos (hojas, tejido muerto y tallos), número de tallos, número y peso de panículas, longitud de panícula, peso de grano (lleno + vano), peso grano lleno, peso ráquis, porcentaje de humedad y rendimiento (ajustado al 14%) y el índice de cosecha. Sobre una muestra de 10 panículas se determinó el peso de panícula, peso ráquis, número de granos llenos y vanos, porcentaje de vaneamiento y peso de 1000 granos. Para el cálculo del índice de cosecha, se utilizó la siguiente expresión:

$$\text{ÍC} = \text{RE/RB} = \text{RGS/PST}$$

Donde:

IC= Índice de cosecha
RE= Rendimiento económico
RB= Rendimiento biológico
RGS= Rendimiento de grano seco
PST= Peso seco total

3.5.5 Diseño Experimental. El ensayo se estableció en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, donde se ubicaron las 14 variedades de arroz, para un total de 56 unidades experimentales. El tamaño de la parcela fue de 27.36 m² (11.4 m x 2.4 m); para evitar alteración de la densidad establecida, se marcaron cuadros de muestreo de 0.25 m² para cada una de las evaluaciones.

3.5.6 Análisis Estadístico. Se realizaron análisis de varianza para el rendimiento y sus componentes y correlaciones entre estas variables.

3.6 RESULTADOS Y DISCUSION

De acuerdo con los análisis de varianza (Tablas 4, 5 y 6 del Anexo C), para la variable rendimiento de arroz paddy (kg/ha), se presentaron diferencias significativas entre las repeticiones en los dos semestres evaluados; logrando separar las variaciones intrabloques debidas a la heterogeneidad espacial. Mientras tanto, entre las 14 variedades de arroz evaluadas, solamente se presentaron diferencias para el semestre B y para el análisis combinado.

Al comparar los dos semestres, se observó que los rendimientos promedios son más bajos para el semestre A (9190.0 kg/ha) y una mayor variación de los datos

que en el semestre B. Por su parte, en el semestre B el rendimiento promedio es más alto (9794.7 kg/ha) y sus datos presentan menor variabilidad (mayor coeficiente de determinación y bajo coeficiente de variación). Estas diferencias en la respuesta entre los dos semestres se deben posiblemente a una mayor variación de los factores climáticos para el semestre A, que afectó de manera sistemática a todas las variedades evaluadas, aunque estas diferencias entre los semestres, no alcanzaron los niveles significativos.

De acuerdo con la Figura 3.1, las variedades con el mayor promedio de rendimiento (kg/ha), teniendo en cuenta ambos semestres evaluados, fueron Oryzica 3 y O. Llanos 4, con rendimientos de 11.113 y 10.565 kg/ha, respectivamente; mientras que las variedades de menor rendimiento de grano fueron Blue Bonnet 50 y Metica 2 (6.260 y 8.711 kg/ha, respectivamente). La variedad Oryzica 1 merece una mención especial, debido a que presentó la menor desviación estándar en los dos semestres, mostrando una alta consistencia tanto a la variabilidad espacial como a la temporal.

Para el semestre A, se destacan las variedades Oryzica 3 y O. Llanos 5, con los mayores rendimientos promedios de 11.470 y 10.857 kg/ha, respectivamente; mientras que las variedades de menor rendimiento de grano fueron Blue Bonnet 50 y CICA 4 (6.408 y 7.901 kg/ha, respectivamente).

En el semestre B, se pueden apreciar mejor las diferencias en rendimiento entre las variedades evaluadas, sobresalen Oryzica 2, O. Llanos 4, IR 8 y CICA 9, con promedios cercanos a los 11000 kg/ha, mientras que las variedades con el menor rendimiento fueron Blue Bonnet 50, Línea 2 y Metica 2, con 6132, 8377 y 8909 kg/ha, respectivamente.

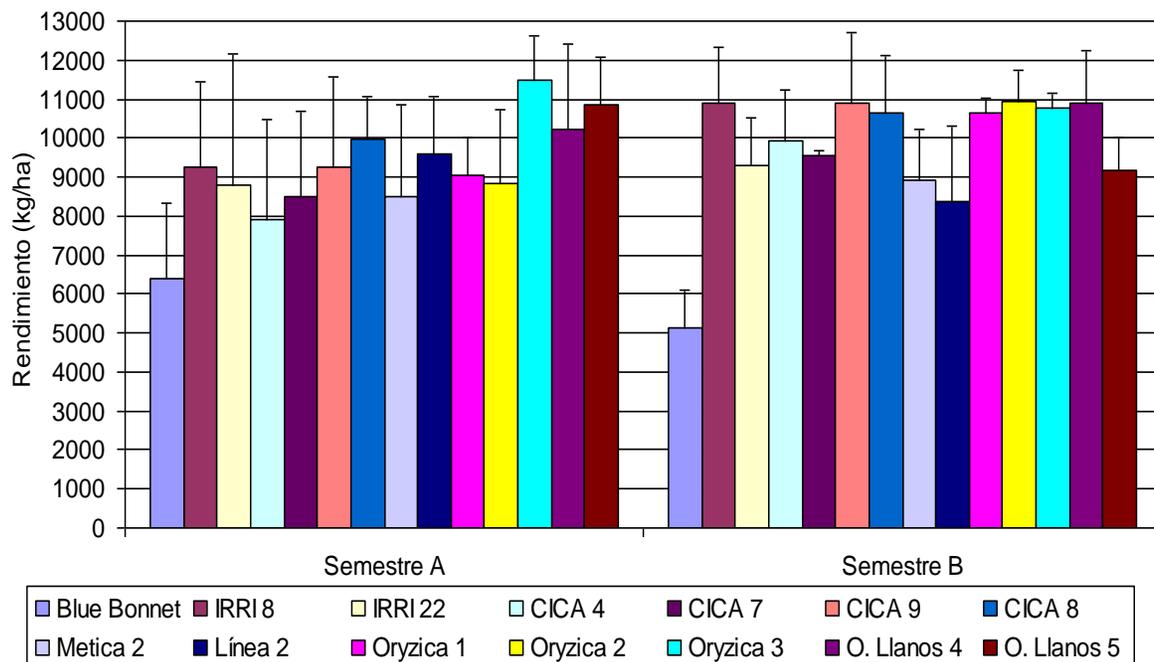


Figura 3.1. Rendimiento promedio de grano (kg/ha) de 14 variedades de arroz en dos semestres. CIAT, Palmira (Valle).

En la Figura 3.2, se presenta la tendencia en el rendimiento de las 14 variedades según el año de selección, siendo evidente el “estancamiento” del rendimiento alrededor de 10.000 kg/ha desde el grupo de las Cica’s hasta el grupo de las Oryzica’s, de estas variedades más recientes se destaca la variedad Oryzica 3, la cual presenta un promedio mayor. Dicho estancamiento se explica en gran parte debido a la base genética estrecha de las variedades colombianas, como se puede apreciar en el cuadro 3.2. Esta ta barrera de rendimiento de arroz tipo indica, también fue reportada por Peng et al. (1999) y Peng and Kush (2003), siendo posible la superación de este “techo”, mejorando la relación fuente-vertedero, a través de un mayor tiempo de actividad de la fuente (stay green) y un mayor tamaño de vertedero (panículas más grandes).

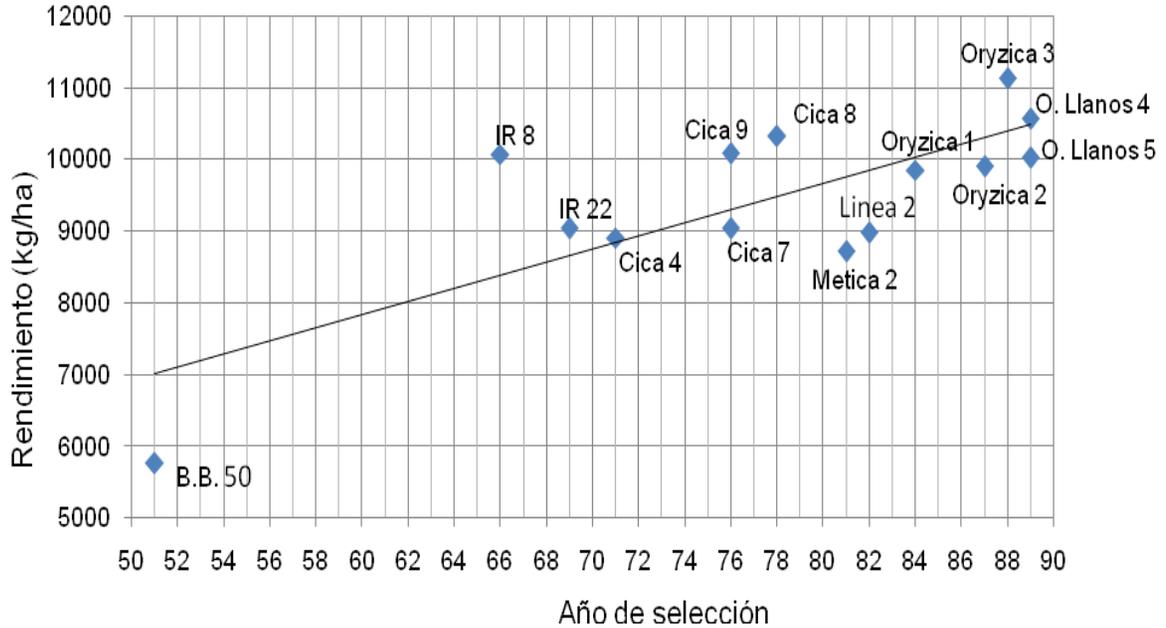


Figura 3.2. Tendencias en el rendimiento de grano (kg/ha) de 14 variedades de arroz liberadas en Colombia. CIAT, Palmira (Valle).

Según la Figura 3.3, en términos generales la producción de paja (kg/ha) fue mayor en el semestre B que en el A, donde el genotipo Línea 2 presentó la mayor producción de paja de 16178 kg/ha, lo cual se considera desfavorable porque la planta fue muy poco eficiente en la translocación de fotosintatos, dejando mucho residuo de cosecha y que generó un efecto negativo sobre su rendimiento de grano, el cual fue el segundo más bajo (8377 kg/ha). En el otro extremo se encuentra la variedad IR 8, la cual confirmó el hecho de que sea considerado como una variedad altamente eficiente, baja producción de paja/ha y alta producción de grano/ha.

Sin embargo, esta tendencia no se presentó con la variedad Oryzica 3, la cual obtuvo el mayor rendimiento de grano/ha (11470 kg/ha) en el semestre A pero también fue la variedad con la mayor producción de paja (13372 kg/ha), es decir que a pesar de tener muchos residuos de cosecha logró una alta eficiencia en la translocación de fotosintatos al grano. Esto se confirma más adelante al analizar la relación grano/paja y el índice de cosecha.

De acuerdo con los análisis de varianza (Tablas 7, 8 y 9 del Anexo C), para la variable relación grano/paja, se presentan diferencias significativas entre las variedades en los dos semestres evaluados y en el análisis combinado; en éste último, se detectan diferencias altamente significativas para la interacción semestre x variedad, lo que significa que algunas variedades presentan diferencias en la relación grano/paja por el efecto de las condiciones ambientales

de los semestres evaluados.

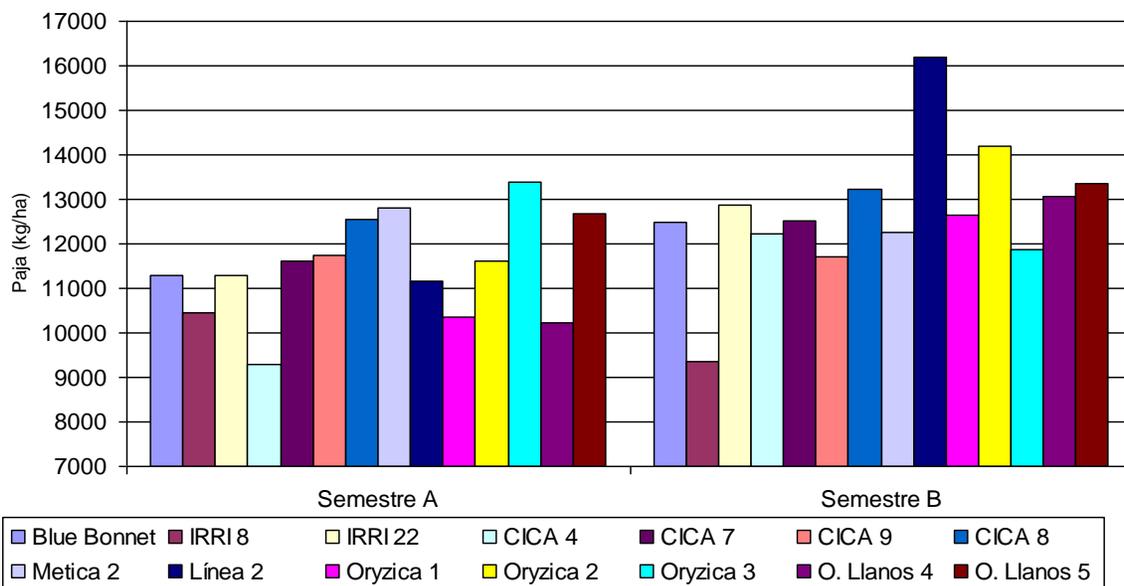


Figura 3.3. Producción promedio de paja (kg/ha) de 14 variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) en dos semestres. CIAT, Palmira (Valle).

Al comparar los dos semestres, se observa que los datos de la relación grano/paja para el semestre A presentan una mayor variación que los del semestre B. Estas diferencias en la respuesta entre los dos semestres, confirman la posible mayor variación de los factores climáticos para el semestre A, aunque no afectó a todas las variedades evaluadas, puesto que el promedio fue mayor (0.821), comparado con el semestre B (0.794); sin embargo, estas diferencias entre los semestres, no alcanzaron los niveles significativos.

Según la Figura 3.4, las variedades con la mayor relación grano/paja fueron IR 8 y O. Llanos 4, con valores promedios de 1.042 y 0.948, respectivamente; mientras que las variedades de menor promedio en esta variable fueron Blue Bonnet 50 y Metica 2 (0.545 y 0.697, respectivamente). Durante el semestre A, se destaca a la Línea 2 aparte de las variedades mencionadas anteriormente, sin embargo, esta variedad presentó la mayor desviación estándar en este semestre.

Por su parte en el semestre B, se pueden apreciar mejor las diferencias en la relación grano/paja rendimiento, aquellas variedades con alto índice de cosecha fueron las que presentan el mayor rendimiento de grano; ejemplo de esto, son las variedades IR 8, CICA 9 y Oryzica 3, con promedios por encima de 1.0, para el caso de IR 8 y por encima de 0.9, en las otras dos variedades. Entre tanto, las variedades con la menor relación grano/paja fueron Línea 2 y Blue Bonnet 50 (0.52 y 0.595, respectivamente), quienes presentaron los menores rendimientos para el semestre B.

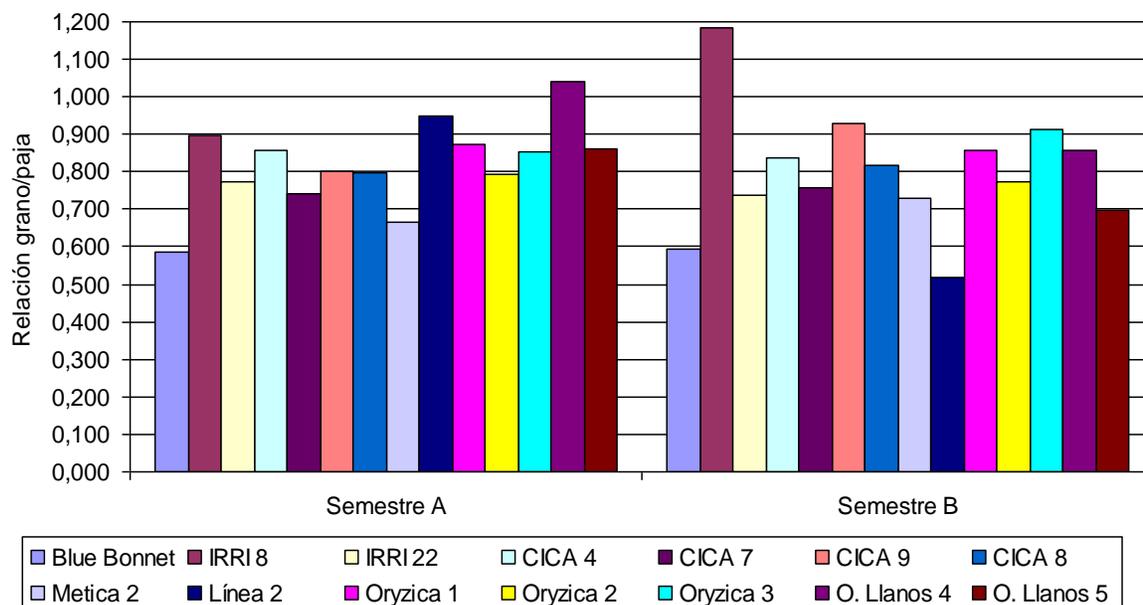


Figura 3.4. Relación grano/paja de 14 variedades de arroz en dos semestres. CIAT, Palmira (Valle).

De acuerdo con los análisis de varianza (Tablas 10, 11 y 12 del Anexo C), para la variable relación grano/peso seco total, se presentan diferencias altamente significativas entre las variedades en los dos semestres evaluados y en el análisis combinado; en éste último, se detectan diferencias altamente significativas para la interacción semestre x variedad, lo que significa que algunas variedades presentan diferencias en su respuesta en la variable relación grano/peso seco total por el efecto de las condiciones ambientales de los semestres evaluados.

Al comparar los dos semestres, se observa que los datos del semestre A presentan una mayor variación que los del semestre B. Estas diferencias en la respuesta entre los dos semestres, confirman la posible mayor variación de las condiciones ambientales para el semestre A, aunque no afectó a todas las variedades evaluadas, puesto que el promedio fue mayor (0.446), comparado con el semestre B (0.437); aunque estas diferencias entre los semestres, no alcanzaron los niveles significativos.

En la relación grano/peso seco total las variedades IR 8 y O. Llanos 4, presentaron los valores promedios más altos, 0.505 y 0.482, respectivamente; mientras que las variedades de menor promedio en esta variable fueron Blue Bonnet 50 y Línea 2 (0.350 y 0.405, respectivamente). Solamente se encontró una relación directa sobre el rendimiento de grano para el semestre B, donde las variedades de mayor rendimiento presentaron la mayor relación grano/peso seco total.

En la Figura 3.5, se puede observar que en el semestre A además de IR 8 y O. Llanos 4, las variedades O. Llanos 5, Línea 2 y Oryzica 1, presentan valores promedios en la relación grano/peso seco, cercanos a 0.5. Como se mencionó anteriormente, en el semestre B se pueden apreciar mejor las diferencias en la relación grano/peso seco total entre las variedades evaluadas, sobresaliendo las variedades IR 8, CICA 9 y Oryzica 3, con promedios por encima de 0.5, para el caso de IR 8 y alrededor de 0.48 en las otras dos variedades; mientras que las variedades de menor relación grano/peso seco total fueron Blue Bonnet 50 y Línea 2 (0.333 y 0.341, respectivamente), variedades con el menor rendimiento de grano/ha.

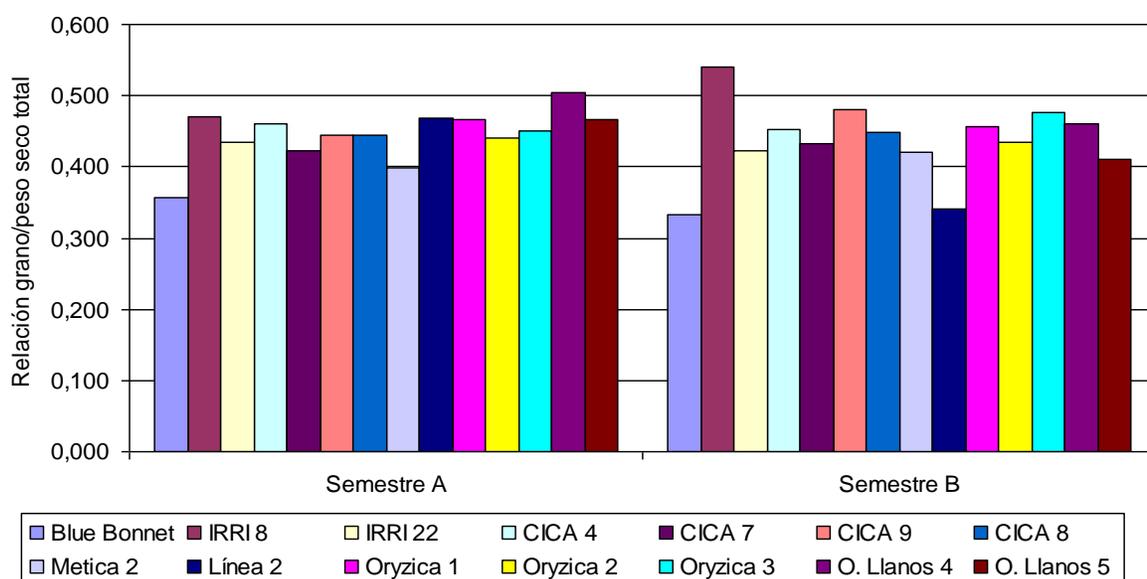


Figura 3.5. Relación grano/peso seco total de 14 variedades de arroz en dos semestres. CIAT, Palmira (Valle).

En la Figura 3.6, aparecen los valores promedios del índice de cosecha para las 14 variedades, el cual representa la capacidad fisiológica para movilizar fotosintatos a los órganos que tienen importancia económica; lo que explica su importancia como parámetro de selección. Se observa que la mayoría de variedades evaluadas presentan un mayor índice de cosecha para el semestre A.

En el semestre A no se presentó una clara relación entre el rendimiento de grano/ha con el Índice de Cosecha, puesto que variedades con alto IC como IR 8, Oryzica 1 y Línea 2, no presentaron alto rendimiento de grano/ha; la variedad que presenta mayor claridad en esta relación es Oryzica Llanos 4. Entre tanto, para el semestre B es más directa la relación entre estas dos variables, ejemplo de ello son las variedades IR 8, Oryzica 3, Cica 9 y O. Llanos 4, que presentan tanto un

alto IC como un alto rendimiento de grano/ha.

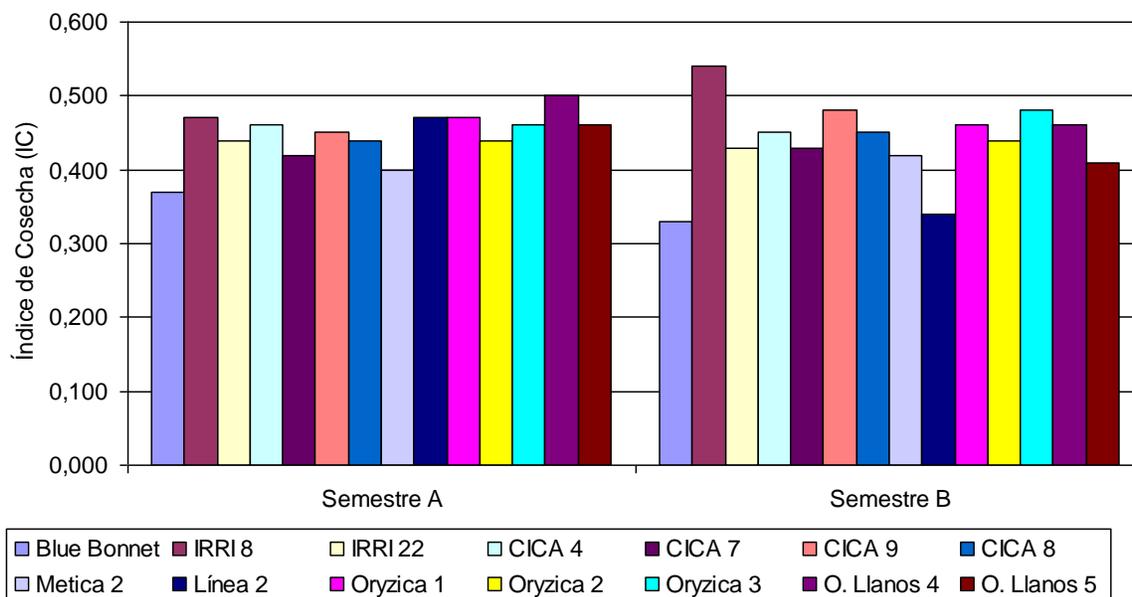


Figura 3.6. Índice de Cosecha (IC) de 14 variedades de arroz en dos semestres. CIAT, Palmira (Valle).

Dentro de los componentes del rendimiento, revisemos que ocurrió con la longitud de la panícula. Se observa variabilidad fenotípica entre las 14 variedades pero sin mucho efecto ambiental debido al semestre, excepto en las variedades Cica 4, Línea 2 y O. Llanos 5, las cuales fueron favorecidas en su expresión por las condiciones ambientales del semestre B. Ver Figura 3.7.

Las variedades con los mayores promedios en la longitud de la panícula fueron O. Llanos 5, Cica 7, Cica 9, Oryzica 2 y Blue Bonnet 50, entre 22 y 24 cm, destacándose que se ve la contribución de este componente al rendimiento solo en las variedades Cica 9 (22.8 cm) y Oryzica 2 (22.4 cm). En el caso de la variedad Blue Bonnet 50, un alto valor en la longitud de la panícula no tiene efecto positivo sobre el rendimiento debido a que otros componentes no lo favorecen, como el número de panículas/m², el cual es muy bajo.

Las variedades con el menor promedio en longitud de la panícula fueron IR 22 (19.4 cm) y la Línea 2 (20.5 cm), las cuales mejoraron en su promedio en el semestre B, siendo consistentes en su efecto sobre el rendimiento de grano (kg/ha). La variedad Oryzica 1, que presentó un bajo promedio en la longitud de la panícula durante el semestre B no se afectó en su rendimiento de grano/ha debido a que se presentó compensación con otro componente como es el caso del número de macollas/m².

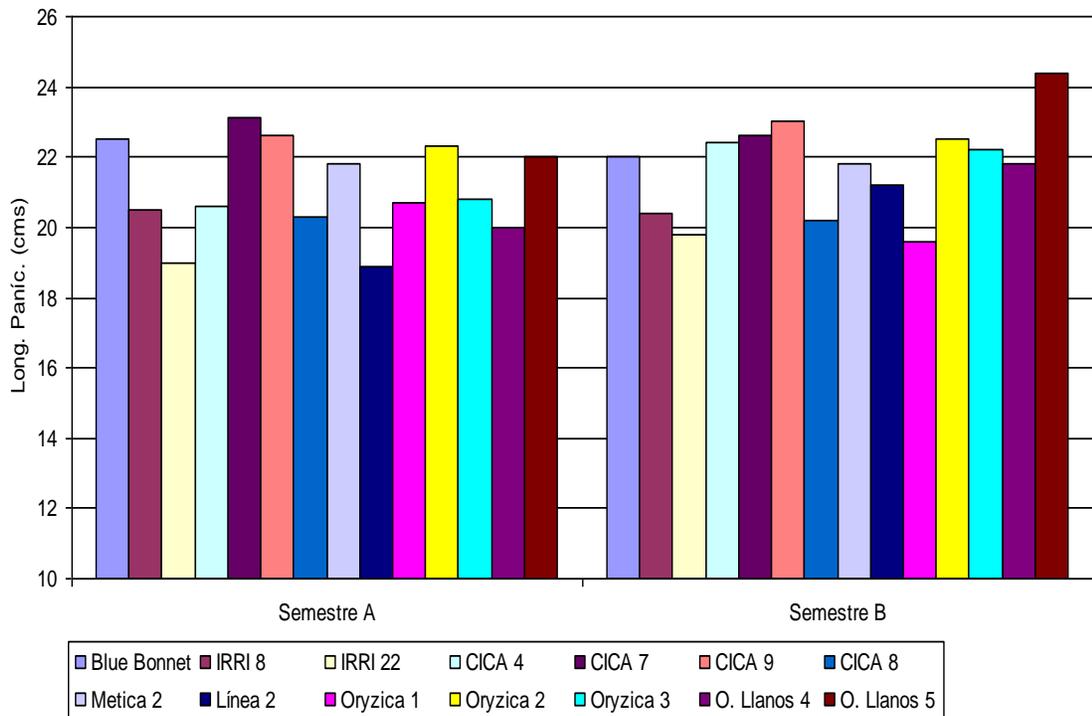


Figura 3.7. Longitud promedio de la panícula (cms) de 14 variedades de arroz en dos semestres. CIAT, Palmira (Valle).

En la Figura 3.8, se pueden observar los promedios en el peso de 1000 semillas, otro componente del rendimiento, el cual presenta variabilidad entre las variedades y poco efecto ambiental. Se destacan las variedades Línea 2 (30.4 g), O. Llanos 5 (29.3 g) y Cica 7 (28.6 g), con una buena consistencia en los dos semestres pero sin una clara contribución al rendimiento. Mientras que las variedades con el menor peso de 1000 semillas fueron Cica 4 (22.1 g), Oryzica 3 (23 g) y O. Llanos 4 (23.1 g); en estas últimas dos variedades el bajo peso de 1000 semillas no afectó el rendimiento de grano/ha, debido a que se presentó la contribución de otros componentes del rendimiento como por ejemplo el número de granos llenos/panícula en Oryzica 3 y el número de panículas/m² en O. Llanos 4.

Otras variedades con bajo peso de 1000 semillas fueron las variedades introducidas, Blue Bonnet 50 (23.3 g), IR 8 (23.6 g) e IR 22 (23.6 g), siendo muy clara la tendencia a través del tiempo en los primeros ciclos de mejoramiento, donde se incluyó a esta variable como parámetro de selección a favor de aquellos genotipos con un mayor peso de 1000 semillas en procura de obtener mayor rendimiento de grano. Con el grupo de las variedades Oryzica's, aparentemente perdió interés como criterio de selección el peso de 1000 semillas, quedando un

vacío en el aumento de rendimiento de grano/ha y siendo necesario compensar con otros componentes.

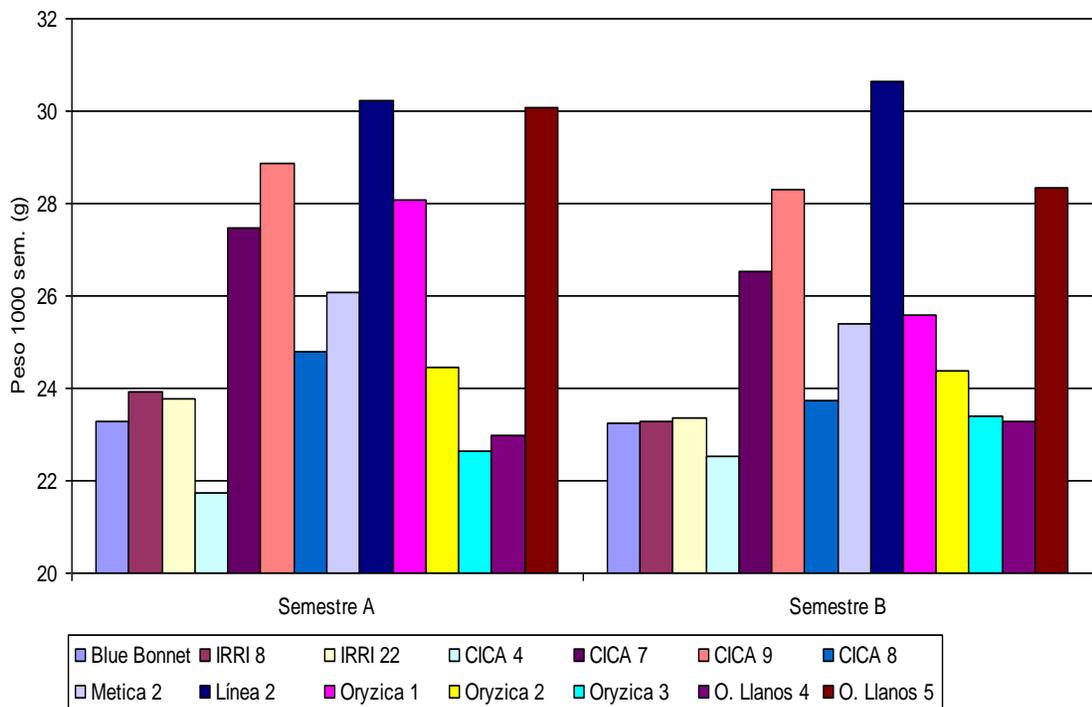


Figura 3.8. Peso promedio de 1000 semillas (g) de 14 variedades de arroz en dos semestres. CIAT, Palmira (Valle).

Otro componente del rendimiento importante es el número de granos/panícula, En la Figura 3.9 aparece el número total de granos/panícula, donde se puede observar variabilidad en la respuesta fenotípica de las variedades evaluadas y relativa consistencia entre los dos semestres; sobresalen las variedades Blue Bonnet 50, Oryzica 2 y Oryzica 3, con 150, 146,5 y 133 granos, respectivamente. Sin embargo, a pesar del mejor número en estas tres variedades, la posible contribución al rendimiento de grano solo fue evidente en las variedades Oryzica 2 y 3. Mientras que las variedades O. Llanos 5, Metica 2 y Línea 2, presentan el más bajo promedio en esta variable, 96.5, 101.5 y 102.5 g, respectivamente; en la primera de las variedades no se afectó el rendimiento de grano a pesar de tener tan poco número de granos/panícula, especialmente en el semestre A, debido a la compensación presentada en el peso de 1000 semillas.

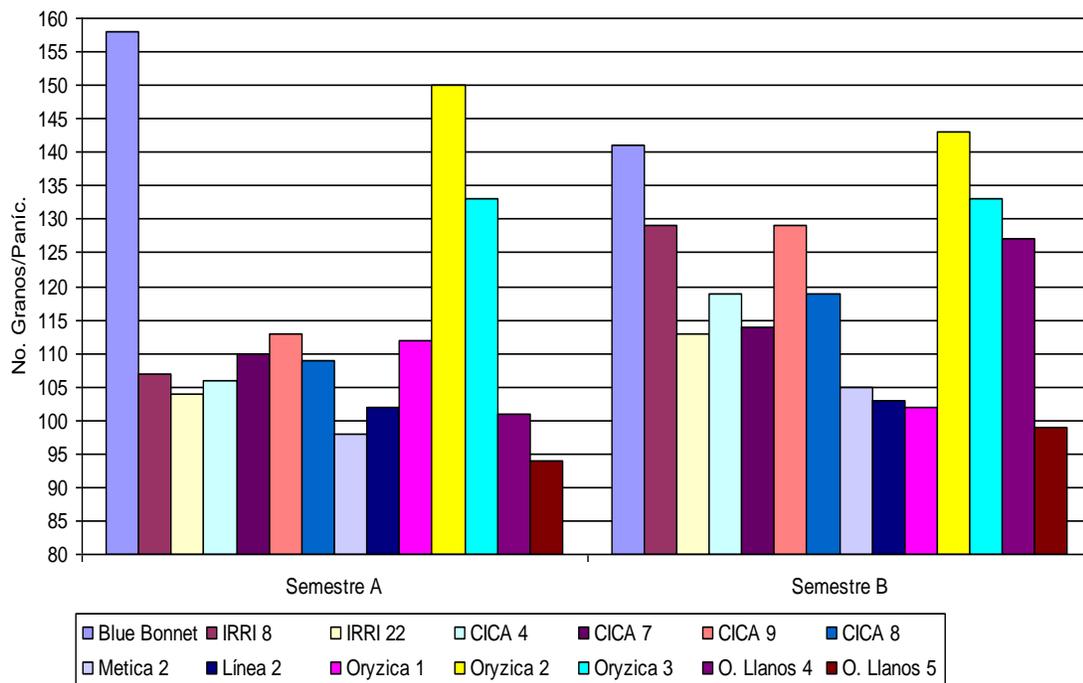


Figura 3.9. Número promedio de granos/panícula de 14 variedades de arroz en dos semestres. CIAT, Palmira (Valle).

En la Figura 3.10, se pueden apreciar los promedios del número de granos llenos/panícula en las 14 variedades de arroz, donde como era de esperarse aparecen con los mayores promedios las variedades Blue Bonnet 50, Oryzica 3 y Oryzica 2, con 124.5, 120 y 116 granos llenos/panícula, respectivamente. Mientras que las variedades con los más bajos promedios son O. Llanos 5, O. Llanos 4 y Línea 2, con 79.5, 83.5 y 87.5 granos llenos/panícula.

El número de granos vanos/panícula, Figura 3.11, muestra que las variedades con el mayor promedio son Oryzica 2 y Oryzica Llanos 4, con 30.5 y 30 granos; en la primera de ellas se compensa este alto número de granos vanos por tener un alto número total de granos, mientras que el promedio del número de granos vanos/panícula para O. Llanos 4, se afecta por las condiciones ambientales del semestre B, siendo un componente débil en esta variedad, debido a que presenta un bajo número de granos llenos/panícula y un alto número de granos vanos/panícula. En contraste, el menor número de granos vanos/panícula fue obtenido por las variedades Metica 2, IR 22 y Oryzica 3, con 8.5, 11.6 y 13.5 granos, respectivamente; solo en la última de las variedades, se muestra una contribución al rendimiento.

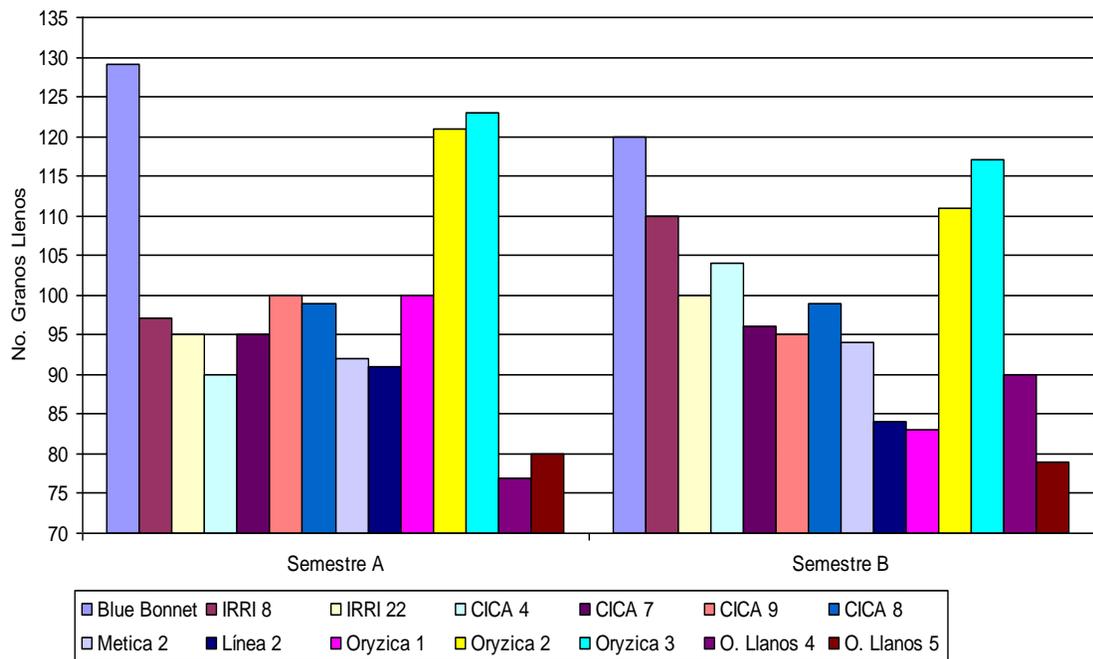


Figura 3.10. Número promedio de granos llenos/panícula de 14 variedades de arroz en dos semestres. CIAT, Palmira (Valle).

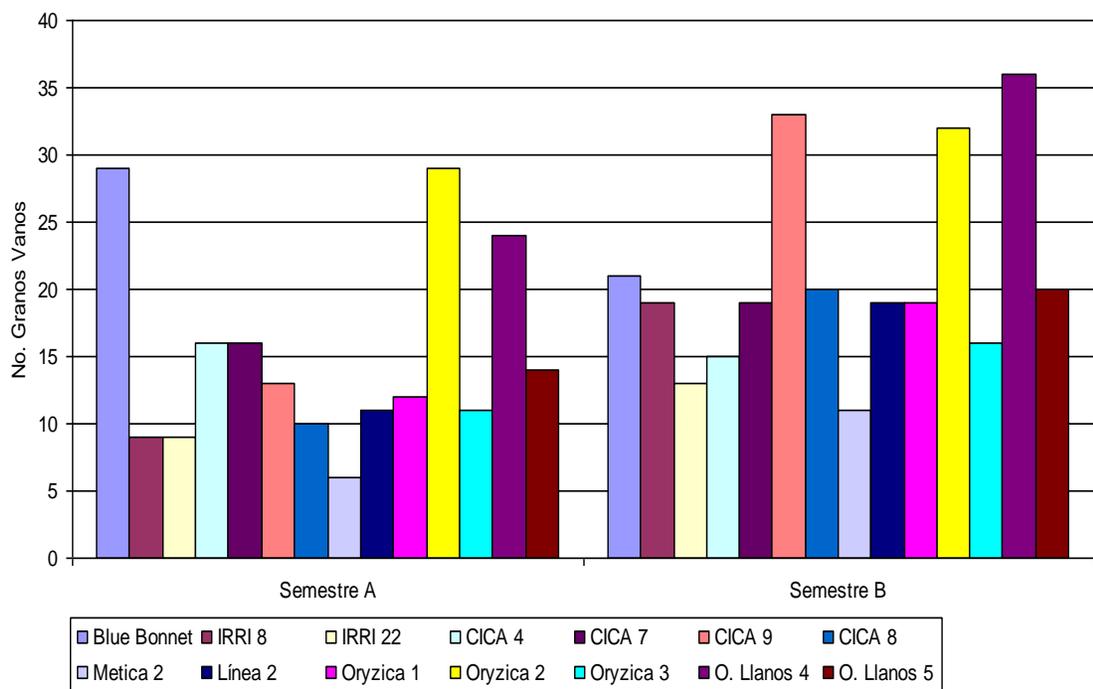


Figura 3.11. Número promedio de granos vanos/panícula de 14 variedades de

arroz en dos semestres. CIAT, Palmira (Valle).

Esta situación se confirma con el porcentaje de vaneamiento, Figura 3.12, donde aparecen las variedades Oryzica Llanos 4 y Oryzica 2, con los promedios más altos en esta variable, 26.4% y 21.6%, respectivamente; a pesar de estos valores tan altos de saneamiento, estas variedades no se afectaron en su rendimiento de grano/ha debido a la compensación de otros componentes del rendimiento. Las variedades con el más bajo vaneamiento fueron Metica 2, Oryzica 3 e IR 22, con 8%, 9.6% y 10.5%, respectivamente; resultado que confirma la contribución al rendimiento de la variedad Oryzica 3, por su bajo vaneamiento.

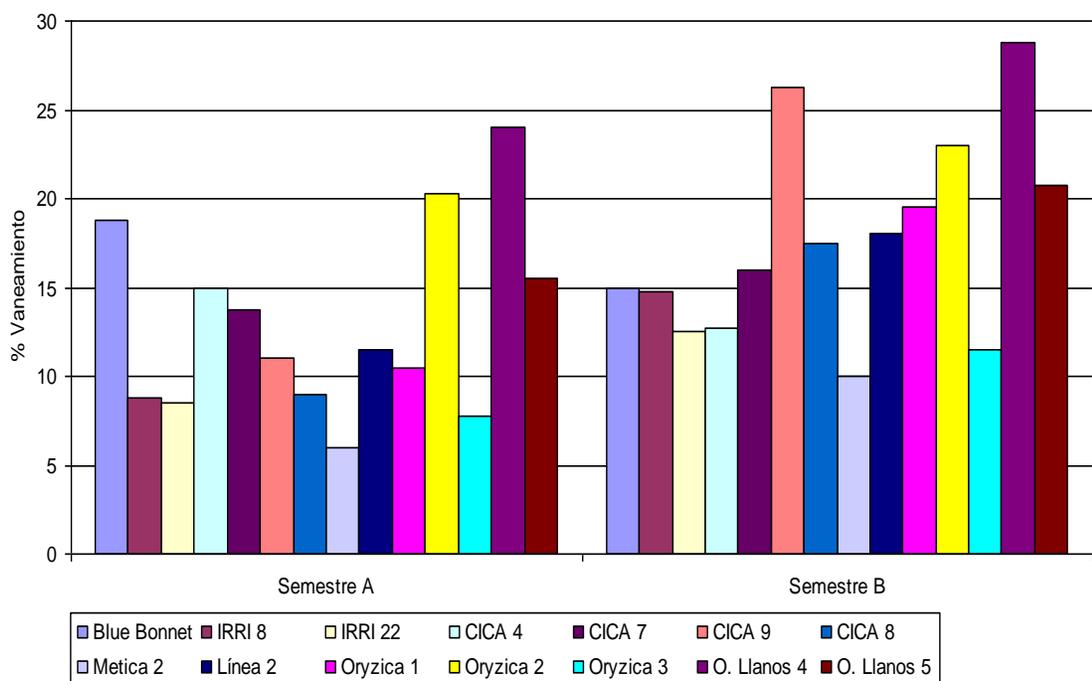


Figura 3.12. Vaneamiento promedio (%) de 14 variedades de arroz en dos semestres. CIAT, Palmira (Valle).

Un componente importante del rendimiento es el número de panículas, por planta y por m², cuyos promedios aparecen registrados en las Figuras 3.13 y 3.14, donde en la primera se observan pocas diferencias entre las variedades debido a que se trata de una variable de poca variabilidad, se está refiriendo a un individuo, mientras que en el número de panículas/m² se pueden ver mejor las diferencias porque se relaciona con una comunidad de plantas. Igualmente, como era de esperarse en el número de panículas/planta se presenta un bajo efecto ambiental, mientras que es mayor este efecto en la población.

Dentro de las variedades con el mayor número de panículas/planta se encuentran IR 22 y Oryzica 1, dos variedades que presentaban un número medio de macollas

en la etapa vegetativa, pero que llegaron a ser efectivas a la cosecha. Las variedades con el mayor número de panículas/m², fueron IR 8 (694 panículas), IR 22 (689 panículas), O. Llanos 4 (679 panículas), Cica 8 (667 panículas) y O. Llanos 5 (665 panículas); estas dos últimas variedades presentaban el mayor número de macollas/planta alrededor de la floración.

En las variedades O. Llanos 4, Cica 8, IR 8 y O. Llanos 5, es evidente la contribución de este componente al rendimiento, mientras que en las variedades Oryzica 3 y Cica 9, la contribución la realizan otros componentes, tales como número de granos/panícula y bajo vaneamiento en Oryzica 3 y la longitud de panícula e índice de cosecha en Cica 9.

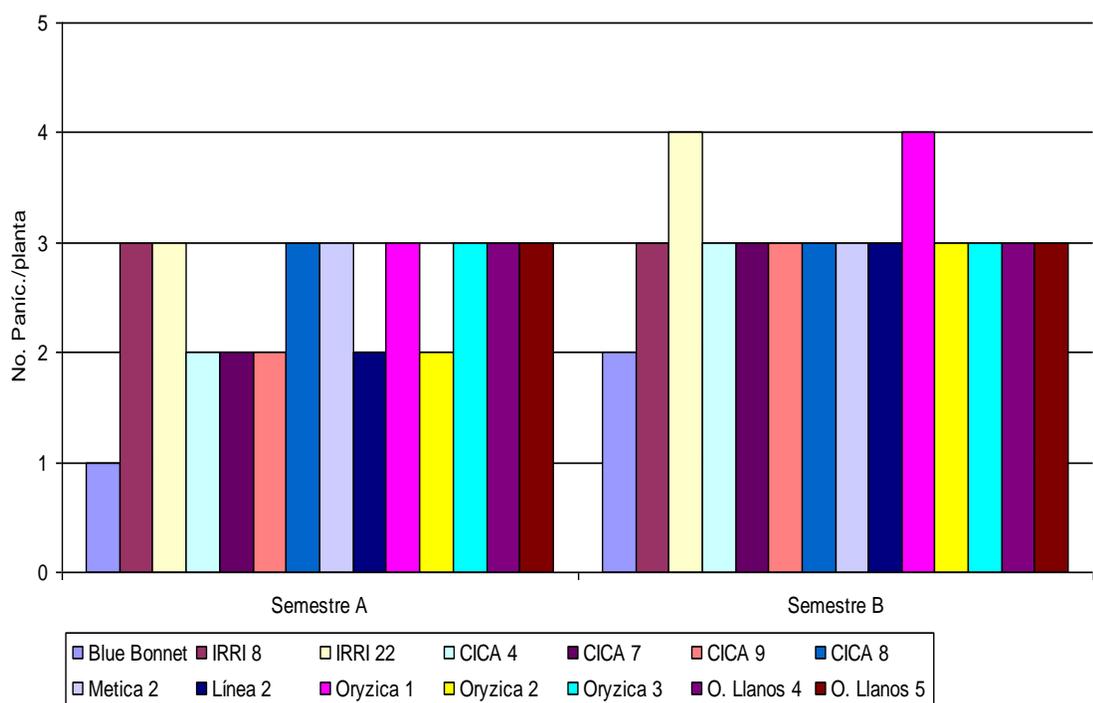


Figura 3.13. Número promedio de panículas/planta de 14 variedades de arroz en dos semestres. CIAT, Palmira (Valle).

Otro aspecto muy importante se refiere a la duración del período vegetativo ó edad del inicio de la floración y la duración del período reproductivo o llenado de grano. En la Figura 3.15, se pueden apreciar diferencias entre las 14 variedades evaluadas. Así como por ejemplo, se presenta precocidad en las variedades IR 8, Oryzica 1, Cica 9 y O. Llanos 4, de las cuales tres de ellas, excepto Oryzica 1, corresponden a variedades con promedios altos de rendimiento de grano/ha, aspecto a destacar pues es posible que en los procesos de mejoramiento al seleccionar genotipos precoces se sacrifique un poco el potencial de rendimiento,

debido a la correlación inversa existente entre estas dos variables y que ha sido reportada en muchos casos.

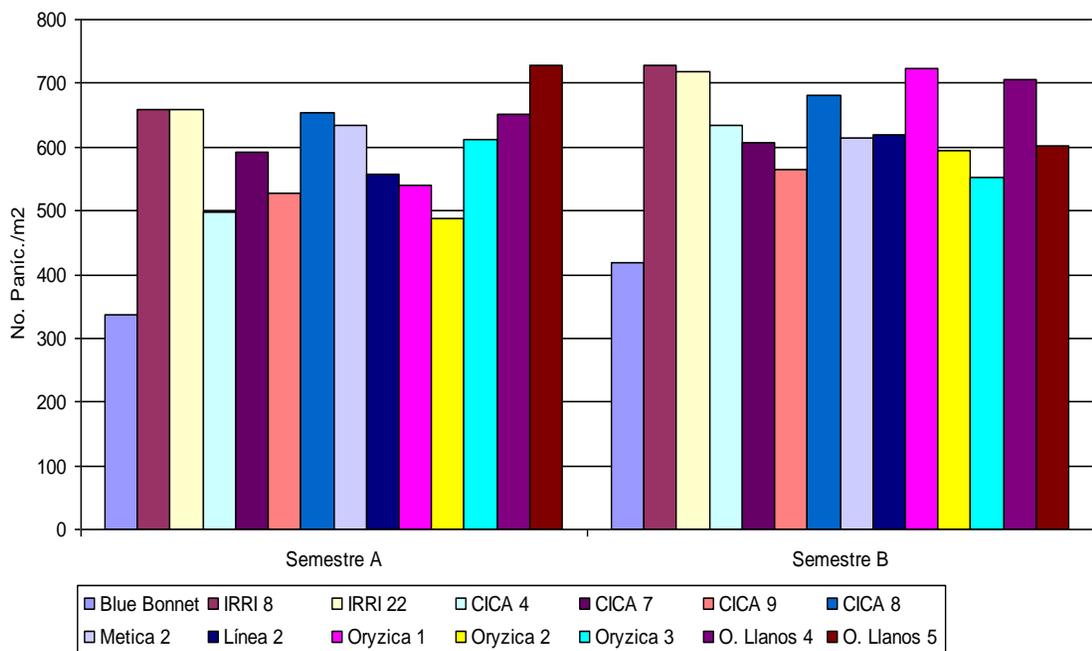


Figura 3.14. Número promedio de panículas/m² de 14 variedades de arroz en dos semestres. CIAT, Palmira (Valle).

Respecto al llenado de grano, las variedades Oryzica 2, Oryzica 3 y O. Llanos 4, representantes de los últimos ciclos de mejoramiento, son las variedades con más largo período de llenado de grano (38 días para las dos primeras variedades y 37 días para O. Llanos 4), condición buscada en el nuevo tipo de planta y que favorece al rendimiento porque presenta mayor tiempo para la translocación de fotosintatos al grano. De las tres variedades mencionadas, Oryzica 3 y O. Llanos 4, presentaron los dos mayores rendimientos de grano/ha entre las 14 variedades.

Las variedades más tardías fueron Cica 8, Cica 4 y Blue Bonnet 50, con 94, 93 y 92 días, respectivamente; dichas variedades también presentan una mayor Duración del Area Foliar (DUAF), explicada en el capítulo anterior (evolución del crecimiento), pero no se traduce en el rendimiento en el caso de Blue Bonnet 50 debido a que su período de llenado de grano es el más corto (33 días); en tanto que las otras dos variedades Cica 4 y Cica 8, presentaron un período de llenado intermedio (35 días). De estas tres variedades, solamente Cica 8 presentó un promedio sobresaliente en el rendimiento de grano/ha.

Al analizar la variación a través del tiempo del peso de la panícula, de la floración hasta 30 días después, Figura 3.16, se observa que las condiciones ambientales

del semestre A favorecieron la expresión fenotípica de esta característica, obteniéndose mayores promedios en el peso de la panícula, mientras que la mayoría de variedades en el semestre B presentaron una caída en el peso de la panícula alrededor de los 26 después de la floración mientras que el semestre A continuaban ganando peso.

En esta variable, se destacan las variedades Cica 9, Línea 2 y Oryzica 2, con los mayores promedios de peso seco de la panícula, de las cuales se traduce en altos rendimientos solo en las variedades Cica 9 Oryzica 2; mientras que las variedades con los promedios más bajos fueron IR 8, IR 22 y O. Llanos 4, situación que tuvo efecto negativo sobre el rendimiento de grano, principalmente en las variedades IR 8 y O. Llanos 4, siendo necesario la compensación de otros componentes del rendimiento.

3.7 AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus más sinceros agradecimientos a las siguientes personas:

Albert J. Fischer, I.A., Ph. D. Jefe del programa de Fisiología de arroz (CIAT), por su acertada planeación y dirección en la etapa de campo del trabajo.

A los profesores Franco Alirio Vallejo Cabrera, I.A., Ph. D. y Diosdado Baena García, I.A., Ph. D. Profesores de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, por la invaluable colaboración en la fase final del trabajo.

A los profesores Sara Mejía de Tafur, I.A., Ph. D. y Edgar Ivan Estrada Salazar, I.A. M. Sc. Profesores de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, por sus importantes observaciones.

A los Ingenieros Héctor V. Ramírez, I.A. M. Sc. y Jaime Lozano F., I.A. M. Sc., Investigadores asociados del programa de fisiología de arroz (CIAT), por el valioso apoyo prestado.

Al personal de los programas de Fisiología de arroz y Utilización de yuca del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

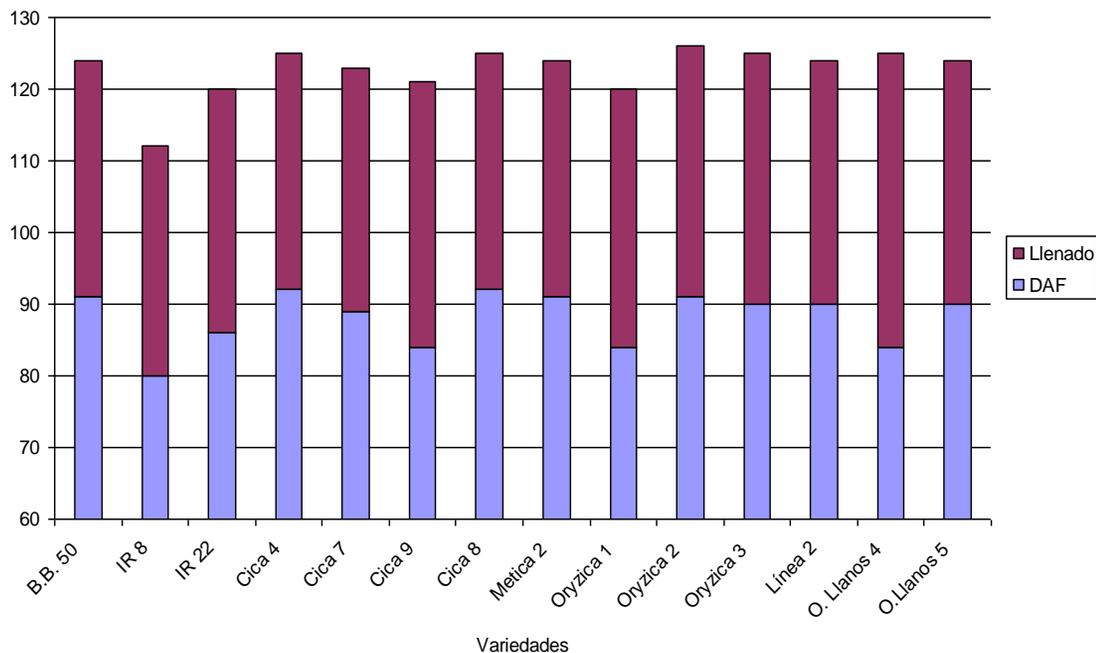
3.8 BIBLIOGRAFIA

Beachell, H.M.; Khush, G.S. and R.C. Acquino. 1972. Rice Breeding. In: IRRI's International Program. p 89-106.

Beachell, H.M, and P.R. Jennings. 1965. Need for modification of plant type. In: The mineral nutrition of the rice plant. John Hopkins Press, Baltimore (USA). p 29-35.

CAO, M. 2001. Performance of autoregulatory senescence-inhibition gene in rice. Hunan Agr. Sci. and Tech. Newsletter, 2 (2):17-24.

Semestre A



Semestre B

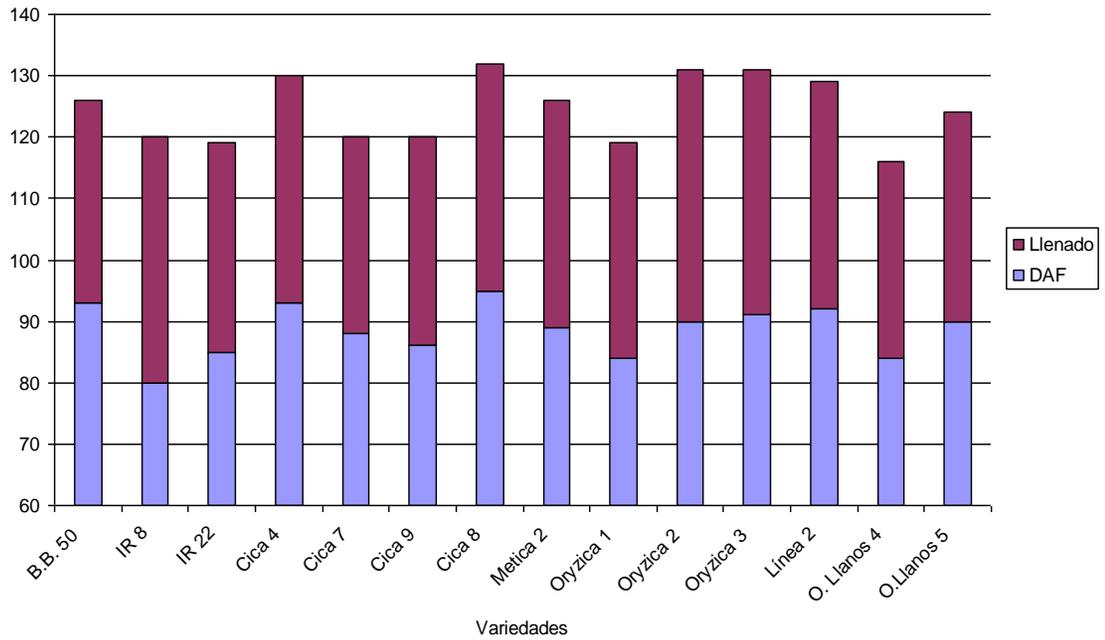
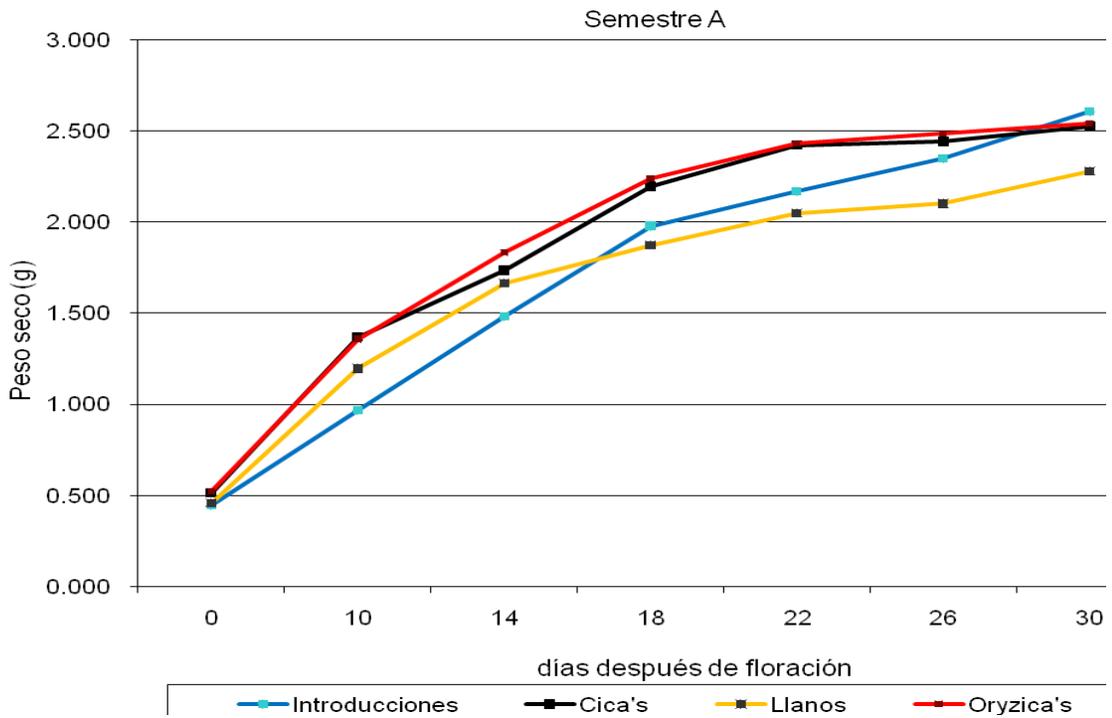


Figura 3.15. Días a floración y duración del llenado de grano para las 14 variedades de arroz. CIAT, Palmira (Valle).



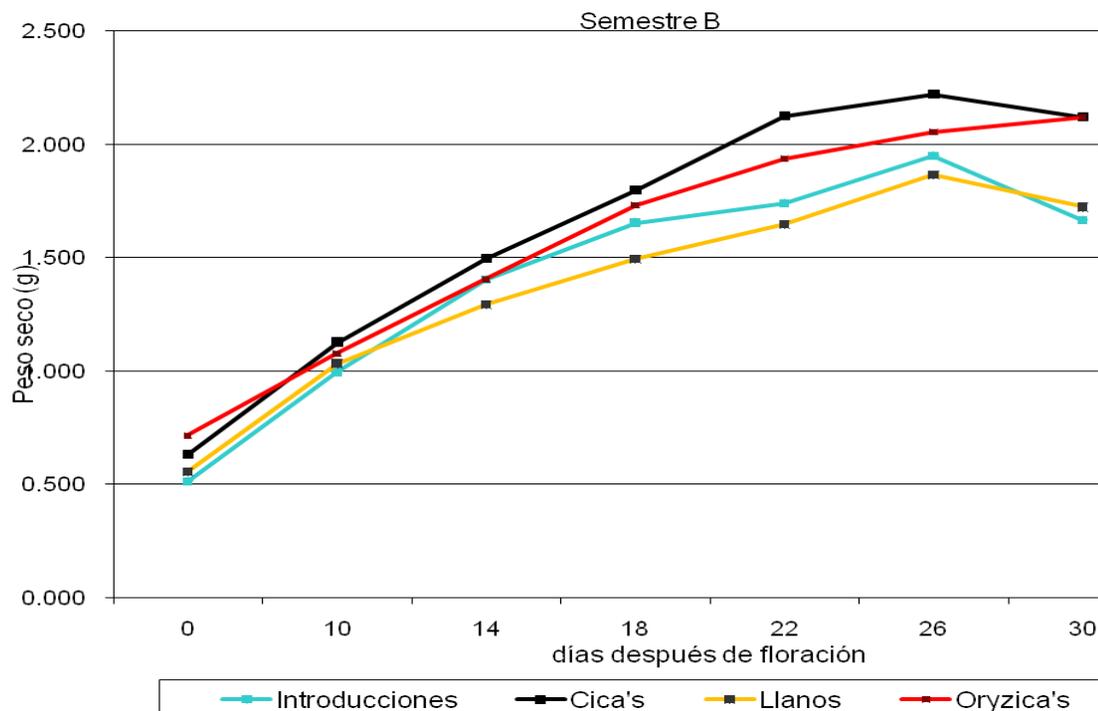


Figura 3.16. Variación a través del tiempo del peso de la panícula (g) desde la floración hasta 30 días después de ésta para las 14 variedades de arroz. CIAT, Palmira (Valle).

Dingkuhn, M. *et al.* 1991. Concepts for a new plant type for direct seeded flooded tropical rice. *In: Directed seeded flooded rice in the tropics, selected papers from the International Rice Research Conference, Philippines.* p 17-38.

Hargrove, T. and R. Coffman. 2006. Breeding history. *In: Rice Today:* 35-38.

Jennings, P. R. *et al.* sf. A Breeding Strategy To Increase Rice Yield Potential. www.ciat.cgiar.org/biotechnology/pdf/jennings.pdf

Jennings, P. R. 2005. Reflexiones sobre las revoluciones en arroz. *En: Foro FLAR 10 años.* 13-17 p.

Peng, S. *et al.* 1999. Yield Potential Trends of Tropical Rice since the Release of IR8 and the Challenge of Increasing Rice Yield Potential. www.crop.scijournals.org/cgi/content/full/39/6/1552

Peng, S. and G. S. Khush. 2003. Four Decades of Breeding for Varietal Improvement of Irrigated Lowland Rice in the International Rice Research Institute.

Rutger, J.N. et al. 1976. Induction of useful short stature and early maturing mutants in two japonica rice cultivars. *Crop Sci.* 16: 631-635.

Takai, T. et al. 2005. Rice yield potential is closely related to crop growth rate during late reproductive period. *In: Field Crops Research* 96 (2-3): 328-335.

Van Tran, D. 1986. Grain yields and carbohydrate partitioning during development of near-isogenic lines of rice (*Oryza sativa* L.) differing in maturity. Ph.D. Thesis. University of California. 176 p.

Vergara, B.S. et al. 1966. Relationship between growth duration and grain yield of rice plant. *Soil Sci. and Plant Nutrit.* 12 (1): 31-39.

Virk, P.S., Khush, G.S. and Peng, S. 2004. Breeding to enhance yield potential of rice at IRRI: the ideotype approach. *In: IRRN* 29.1

Yoshida, S. 1972. Physiological aspects of grain yield. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 23: p 437-464.

_____. 1976. Physiological consequences of altering plant type and maturity. *In: Proceedings of the International Rice Conference Held.* IRRI. Mimeographed.

_____. 1981. *Fundamentals of rice crop science.* IRRI. 269 p.

4. EVOLUCIÓN DE LA PARTICION DE CARBOHIDRATOS Y MOVILIZACION DEL NITROGENO EN 14 VARIEDADES DE ARROZ REPRESENTANTES DE DIVERSOS CICLOS DE MEJORAMIENTO EN COLOMBIA⁵

JAVIER FERNANDO OSORIO SARAVIA⁶

4.1 COMPENDIO

Durante los últimos años, el cultivo del arroz de riego en Colombia ha alcanzado un “techo” aparente en el rendimiento, siendo interesante la búsqueda de características fisiológicas asociadas al rendimiento, que permitan seleccionar genotipos con mayor eficiencia fisiológica. En el CIAT, bajo condiciones ambientales de semestres diferentes, se llevaron a cabo dos ensayos de campo con el objetivo de analizar la variación de las características fisiológicas y de tipo de planta a través del proceso de selección y su posible relación con incrementos de rendimiento. Los ensayos se establecieron bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Las características evaluadas fueron el contenido de carbohidratos y nitrógeno. Se realizaron análisis de varianza, prueba diferencia de medias según Tukey. Se observaron diferencias en la distribución de carbohidratos en la planta y movilización del nitrógeno de las hojas superiores entre las variedades evaluadas, así como diferencias debidas a las condiciones ambientales del semestre.

Palabras Claves: *Oryza sativa* L., partición de fotosintatos, movilización de nitrógeno.

4.2 ABSTRACT

During the past few years, the crop of the rice of irrigation in Colombia has reached a “plateau apparent” in the yield, being interesting the search of physiological characteristics associated to the yield, that allow to select genotypes with greater

⁵ Investigación de tesis presentada como requisito parcial para optar al título de Maestría.

⁶ Estudiante de Maestría en Ciencias Agrarias con énfasis en Fitomejoramiento. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. jfosorio@ut.edu.co.

physiological efficiency. In the CIAT, under environmental conditions of different semesters, two trial of field with the objective to analyze the variation of the physiological characteristics and of type of plant through process of selection and its possible relation with increases of yield were carried out. The trials settled down at random under an experimental design of complete blocks at random with four repetitions. The evaluated characteristics were accumulation of dry matter, photosynthetic efficiency, content of carbohydrates and nitrogen, duration of the area to foliar and grain yield with their components. Variance analyses were made, proves difference of average according to Tukey and analysis of correlation; for the growth curves the model of greater adjustment looked for. Differences in the distribution of carbohydrates in the plant and mobilization of the nitrogen of the superior leaves were observed inter varieties evaluated, as well as differences due to the environmental conditions.

Key Words: *Oryza sativa* L., carbohydrate partitioning, nitrogen mobilization.

4.3 INTRODUCCION

Durante los últimos veinte años, el cultivo del arroz irrigado a través de los diversos ciclos de mejoramiento, ha alcanzado un "techo" aparente en el rendimiento cada vez más difícil de superar. Se hacen necesarios estudios sobre el tipo de planta y características fisiológicas tales como la partición de carbohidratos y de nitrógeno, con potencial para aumentar y mantener los rendimientos, observando su variación a través del proceso de selección y su posible relación con incrementos de rendimiento.

Como objetivo principal se planteó la descripción en cada una de las variedades la partición de carbohidratos y de nitrógeno, así como su movilización hacia el grano (especialmente de floración a madurez), procesos considerados relevantes para futuros incrementos de rendimiento, así como aspectos de senescencia y duración de la maduración.

4.4 MARCO TEORICO

4.4.1 Acumulación de carbohidratos. De acuerdo con Van Tran (1986), poco se conoce sobre la producción, translocación y acumulación de los asimilados en las diferentes partes de la planta de arroz. Los investigadores creían que se necesitaban de períodos vegetativos más largos para el almacenamiento de los carbohidratos, los cuales podrían removilizarse y translocarse a las panículas. Recientemente, se ha centrado la atención en el porcentaje y duración del llenado

de grano, que dependen más de la producción de carbohidratos después de la floración.

Agrega Van Tran (1986), que el patrón de distribución de carbohidratos a las partes de la planta, uno de los factores que afecta la eficiencia de la conversión de energía solar, no ha recibido una atención especial, particularmente en arroz. Algunos investigadores creen que los factores limitantes en la producción de arroz, pueden estar relacionados con la tasa fotosintética y el balance entre la capacidad fotosintética (fuente) y la capacidad de almacenamiento (vertedero).

Según Tanaka y Vergara (1967), entre más largo sea el período del llenado de grano, se produce un mayor rendimiento; pero esta relación es más significativa cuando el número de granos/unidad de área no está limitado. Al respecto, Murata y Togari (1972), encontraron que la extensión en la fase de crecimiento favorece el llenado de grano, porque aumenta la cantidad de carbohidratos acumulados antes de floración. Al mismo tiempo, períodos vegetativos más largos ocasionan senescencia de las primeras hojas formadas, que no contribuyen a la actividad fotosintética.

De acuerdo con muchos autores, la planta de arroz acumula carbohidratos en forma de almidón y azúcares en las hojas y tallos, durante las dos semanas antes de floración. A la cosecha, hay muy pocos carbohidratos en las hojas y tallos. Murayama, Oshima, y Tsukahara (1961), marcaron los carbohidratos acumulados con ^{14}C y encontraron que el incremento en la actividad en los granos fue casi igual a la pérdida de actividad en los carbohidratos de hojas y tallos. Concluyendo que los carbohidratos acumulados fueron verdaderamente translocados al grano.

En un experimento similar, Oshima (1966), encontró que el 89% del almidón acumulado, fue translocado al grano. Al respecto, Lian y Tanaka (1967), afirman que el carbono asimilado antes de floración es usado para el llenado de grano con eficiencia relativamente baja y que una considerable cantidad de carbohidratos se puede perder a través de la respiración.

Cock y Yoshida (1972), utilizando la técnica del $^{14}\text{CO}_2$, encontraron una eficiencia de la translocación de los carbohidratos de 68% (teniendo en cuenta la reasimilación de $^{14}\text{CO}_2$), 20% de los carbohidratos acumulados se perdieron por respiración durante el llenado de grano y el 12% fue residual en las partes vegetativas. Con dicha eficiencia, la contribución de los carbohidratos acumulados a los carbohidratos del grano fue del 24%, que es equivalente a 1.9 t/ha de grano al 14% de humedad.

Yoshida y Ahn (1968), determinaron la contribución de los carbohidratos acumulados a los del grano en algunas variedades de arroz por medición del cambio en el contenido de carbohidratos de la lámina foliar + tallos + vainas, entre floración y cosecha. Los carbohidratos acumulados se estimaron por encima del

38% de los carbohidratos del grano y la contribución varió considerablemente entre variedades.

Thorne (1966), sostiene que el aumento en la capacidad fotosintética para producir carbohidratos se traduce en mayor rendimiento, sólo cuando hay suficiente capacidad de almacenamiento de los mismos. Encontró que los carbohidratos acumulados antes de floración son relativamente de poca importancia en trigo y cebada pero en arroz pueden constituir más de un tercio de los carbohidratos del grano. Estas estimaciones de la eficiencia del uso de carbohidratos acumulados varían desde una extrema eficiencia en arroz (38%), hasta más del 50% de pérdidas por respiración en trigo.

Según Biswas y Choudhuri (1980) y confirmado por Yoshida (1981), la muerte de los tejidos durante la fase reproductiva está usualmente asociada con la transferencia de carbohidratos, nitrógeno y fósforo a los tejidos de los órganos reproductivos.

4.5 MATERIALES Y METODOS

4.5.1 Localización y duración. El ensayo contempló dos siembras, semestre A y semestre B, en las instalaciones del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), localizado a una altura de 965 m.s.n.m. en el municipio de Palmira (Valle), que presenta las siguientes condiciones climáticas:

Cuadro 4.1. Valores promedios de las variables climatológicas durante el ensayo. CIAT, Palmira (Valle).

Parámetro	Semestre A	Semestre B
Precipitación promedio (mm)	460	640
Temperatura promedio (°C)	25	24
Humedad relativa promedio (%)	72	76
Radiación solar (MJoules/m ²)	16.2	15.9

Fuente: CIAT, 2000.

4.5.2 Variedades de arroz. En el Cuadro 2, aparecen relacionadas las 14 variedades liberadas en Colombia, representantes de los diversos ciclos de mejoramiento y utilizadas en el ensayo; las tres primeras son introducciones y las 11 restantes corresponden a selecciones ó hibridaciones.

Cuadro 4.2. Variedades de arroz utilizadas en el ensayo.

Año	Nombre	Origen	Genealogía	Cruzamiento	Clasificación	Porte
1951	B. Bonnet 50	Texas-USA	Desconocida	Desconocido	Introducción	Alto
1966	IR 8	IRRI	IR 8-288-3	Peta//DGWG	Introducción	Enano
1969	IR 22	IRRI	Desconocida	Desconocido	Introducción	Enano
1971	Cica 4	CIAT-ICA	IR930-31-1-1B	IR8/IR12-178-2-3	Selección	Semienano
1976	Cica 7	CIAT-ICA	P 881-19-24-12-1B-6-1B	IR22//IR930-147-8/Colombia 1	Hibridación	Semienano
1976	Cica 9	CIAT-ICA	P 901-22-11-2-6-2-1B	IR665-23-3-1/P894	Hibridación	Semienano
1978	Cica 8	CIAT-ICA	P 918-25-1-4-2-3-1B-1131-1	Cica 4//IR665-23-3/Tetep	Hibridación	Semienano
1981	Metica 2	CIAT-ICA	P 1044-86-5-3-1-2M	P738-137-3-1/P997	Hibridación	Semienano
1982	Oryzica 1	CIAT-ICA	P 1429-8-9M-2-1B-5	P1223/P 1225	Hibridación	Semienano
1984	Oryzica 2	CIAT-ICA	P 2023-F4-74-2-1B	Bg90-2//Cica 8/Cica 7	Hibridación	Semienano
1987	Oryzica 3	CIAT-ICA	P 2231-F4-138-6-2-1-1B	Cica 7//Cica 8/Pelita I-1	Hibridación	Semienano
1988	Línea 2	Semillano	Desconocida	Desconocido	Hibridación	Semienano
1989	O. Llanos 4	CIAT-ICA	P 5413-8-3-5-11	P4568/P 5003	Hibridación	Semienano
1989	O. Llanos 5	CIAT-ICA	CT5747-24-5-4-2	P5269/P 2060-F4-2-5-2	Hibridación	Semienano

Fuente: CIAT, (2006); IRRI, 2006, adaptado por el autor.

4.5.3 Métodos. Siguiendo los conceptos del nuevo tipo de planta propuestos por Dingkuhn *et al.* (1991), se evaluaron las siguientes variables fisiológicas:

5. Distribución de carbohidratos en los diferentes órganos de la planta.
6. Extracción de nitrógeno, su distribución y movilización dentro de la planta (muestreo secuenciado).

Al inicio del cultivo, se realizó un raleo para dejar una población de 240 plantas/m².

La secuencia en las evaluaciones fue la siguiente: 15, 25, 35, 45, 60 y 75 días después de emergencia (dde), momento de floración, 10, 14, 18, 22, 26 y 30 días después de floración (ddf) y cosecha.

4.5.3.1 Muestreos. A los 15 y 25 dde se tomaron 10 plantas/parcela y se determinó la concentración foliar en la planta de nitrógeno, fósforo y potasio; a

partir de los 35 dde y hasta floración, se realizaron las evaluaciones sobre 5 plantas/parcela. Vale la pena aclarar que en las dos primeras evaluaciones se tomaron 10 plantas para garantizar suficiente material para la medición.

En la época de floración, a 20 macollas se les separó las tres hojas superiores, para determinar el gradiente de nitrógeno y su peso seco. A partir de los 10 ddf y cada cuatro días (hasta 30 ddf), se cosecharon 40 macollas para determinar secuencialmente el gradiente de nitrógeno y la acumulación de materia seca, especialmente en los granos (llenado).

Para cuantificar la acumulación y translocación de carbohidratos al grano, se cosecharon 20 macollas en floración y otras 20 macollas en cosecha, se molieron por separado las partes de la planta y se determinó la concentración de azúcares y almidones, con base en el método del laboratorio de utilización de yuca (CIAT), indicados en los anexos A y B. Para determinar la importancia de las hojas en la translocación de fotosintatos, se mutilaron 20 macollas en floración y se cosecharon a madurez, para determinar su concentración de carbohidratos con base en los métodos anteriores. Para el cálculo del porcentaje de contribución de los carbohidratos acumulados a los carbohidratos del grano, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Contribución} = \frac{(\text{CHO})_{\text{Floración}} - (\text{CHO})_{\text{Madurez}}}{(\text{CHO})_{\text{Grano}}} \times 100$$

4.5.3.2 Diseño Experimental. El ensayo se estableció en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, donde se ubicaron las 14 variedades de arroz, para un total de 56 unidades experimentales. El tamaño de la parcela fue de 27.36 m² (11.4 m x 2.4 m); para evitar alteración de la densidad establecida, se marcaron cuadros de muestreo de 0.25 m² para cada una de las evaluaciones.

4.5.3.3 Análisis Estadístico. Se realizaron análisis de varianza para el rendimiento, materia seca, carbohidratos totales y correlaciones entre estas variables, los índices de crecimiento y el año de selección.

4.6 RESULTADOS Y DISCUSION

En las Figuras 4.1 a la 4.6, se observan los promedios del contenido de carbohidratos por órgano de la planta para los cuatro grupos de variedades en dos épocas, floración y cosecha. En general, las variedades presentan diferencias en el porcentaje de carbohidratos en el órgano de almacenamiento (tallos) al momento de floración (entre 11.06% y 19.25%), teniendo una menor capacidad en la fuente para la variedad Oryzica 2 y mayor capacidad para la variedad Oryzica 3;

estas variedades presentaron un contenido de carbohidratos similar en el raquis al momento de floración, 4.5% y 4.8%, respectivamente, lo que sería un valor medio para iniciar la translocación al grano. La característica de capacidad de la fuente es importante a tener en cuenta en el potencial de rendimiento, sin embargo al relacionar los datos del rendimiento de grano para las dos variedades no se puede afirmar que la capacidad de la fuente incidió favorablemente en el rendimiento porque las dos variedades presentaron rendimientos similares y de los más altos; lo que quiere decir es que el potencial de rendimiento de estas variedades no estuvo influenciado por esta característica.

Al analizar los contenidos de carbohidratos en el grano (vertedero), al momento de la cosecha las variedades con el mayor promedio fueron: O. Llanos 5, Cica 7 y Oryzica 2 con 80%, 78.3% y 78.1%, respectivamente; sin embargo este mayor vertedero no incidió significativamente en los rendimientos; mientras que la variedad con la menor fuente, Oryzica 2, presentó el tercer promedio en el contenido de carbohidratos en el grano, 77%, posiblemente debido a la participación de otros órganos como la hoja en la translocación.

La variedad introducida Blue Bonnet 50, presentó uno de los mayores valores en el contenido de carbohidratos en el grano (76.5%), pero esto no se traduce en rendimiento de grano por el efecto de otras variables que no contribuyen al rendimiento, tales como el número de panículas/m², índice de cosecha y peso de 1000 semillas, donde presenta bajos promedios; Un aspecto que llama la atención en esta variedad, es que presenta un alto valor de carbohidratos en los tallos al momento de la cosecha, dejando de translocar al grano una fracción importante que quedaría en los residuos de cosecha. Esto podría ser importante para otros usos como alimentación animal. Caso contrario sería la variedad Cica 8, en la cual no se encontraron contenidos de carbohidratos en los tejidos de almacenamiento, tallos y hojas, al momento de cosecha, mostrando una alta eficiencia en su translocación.

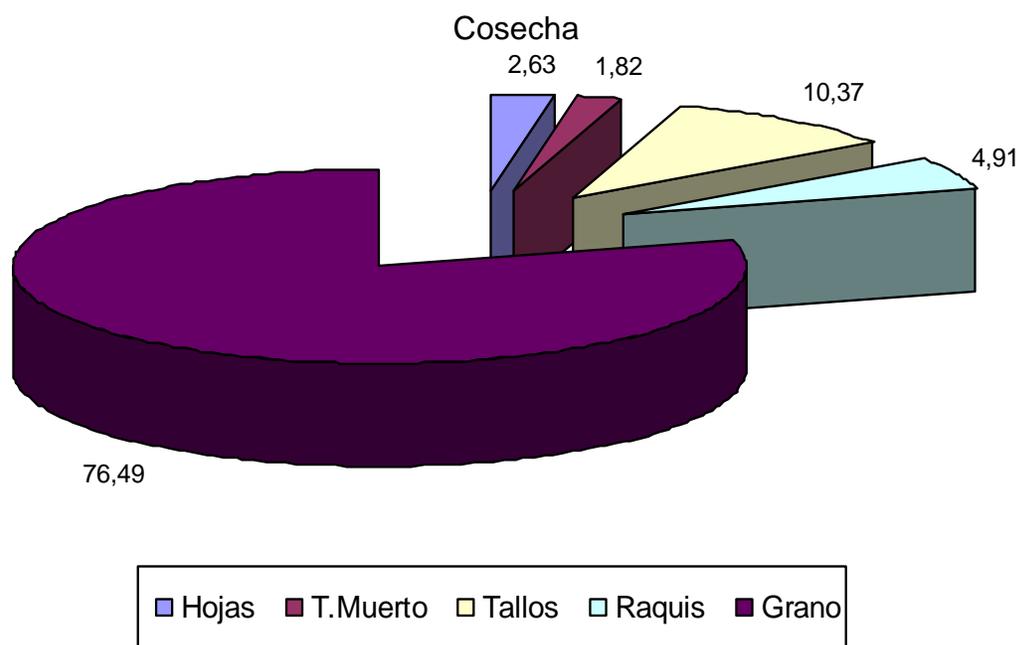
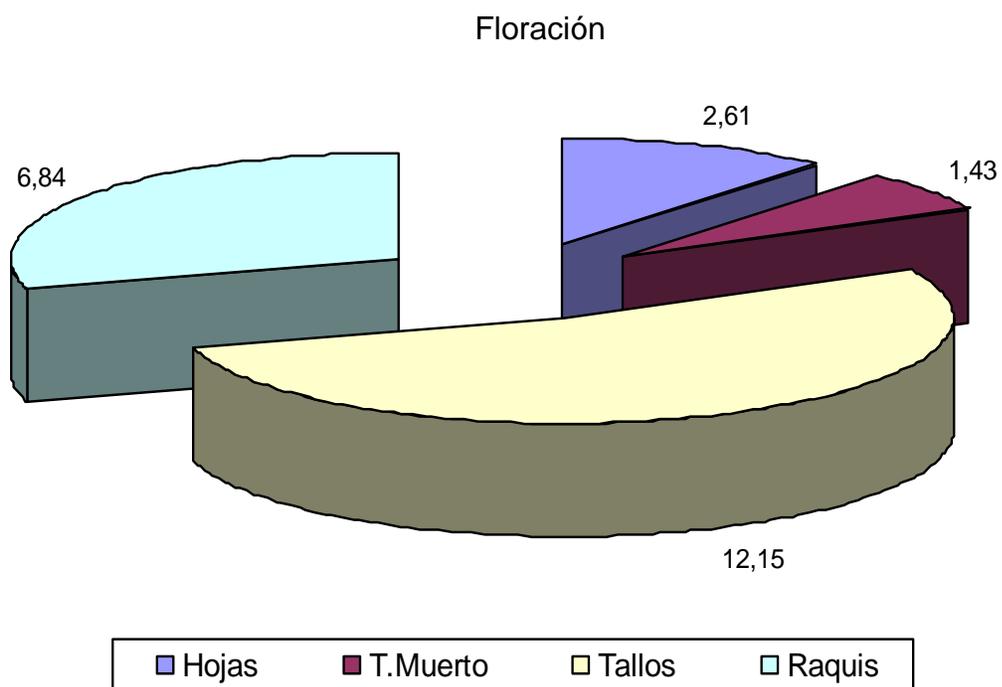


Figura 4.1. Distribución del Contenido de carbohidratos totales (%) en las diferentes partes de la planta de la variedad Blue Bonnet 50. CIAT, Palmira

(Valle).

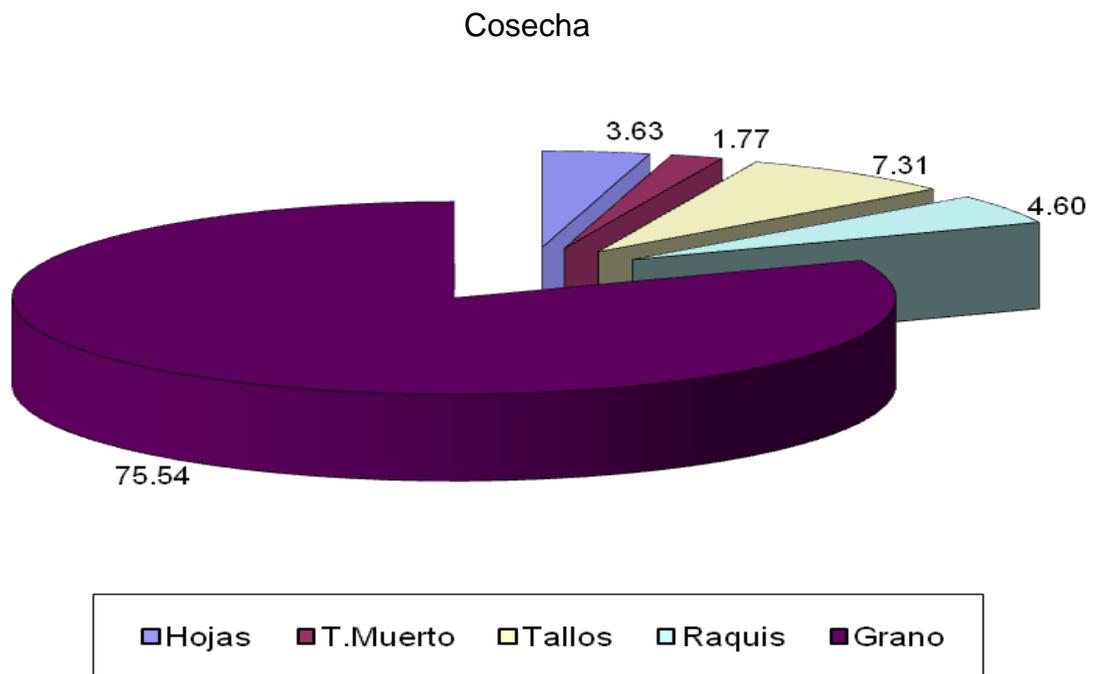
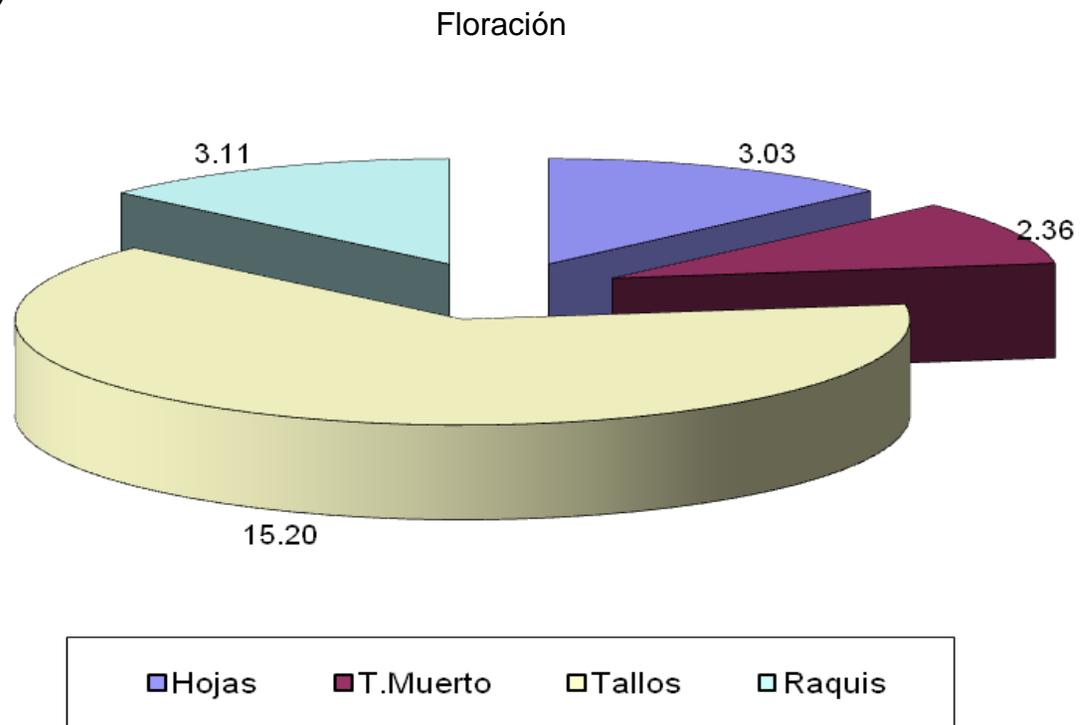
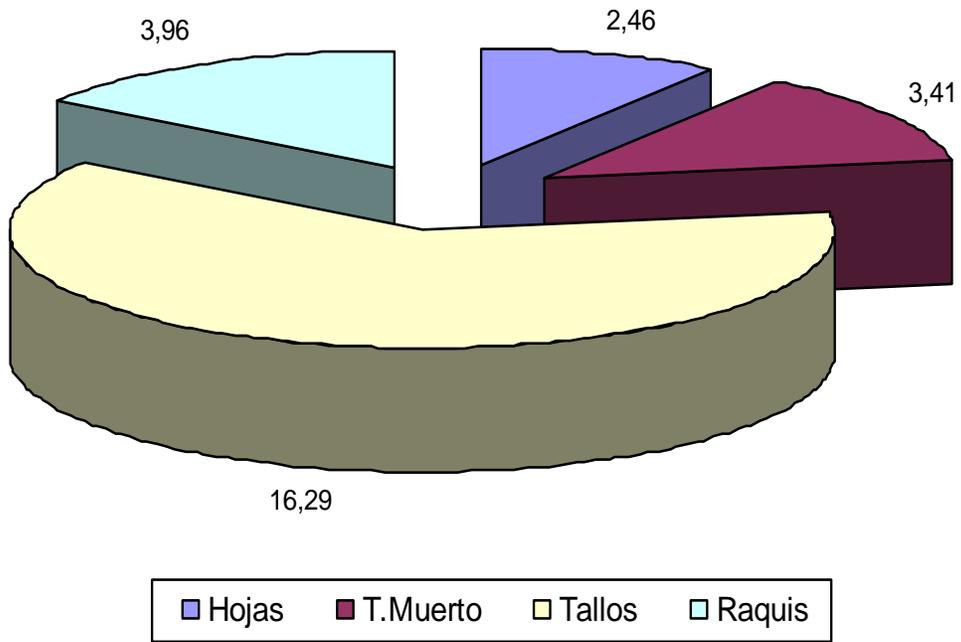


Figura 4.2. Distribución del Contenido de carbohidratos totales (%) en las diferentes partes de la planta para el grupo de las variedades Introducidas,

excepto IR 8. CIAT, Palmira (Valle).

Floración



Cosecha

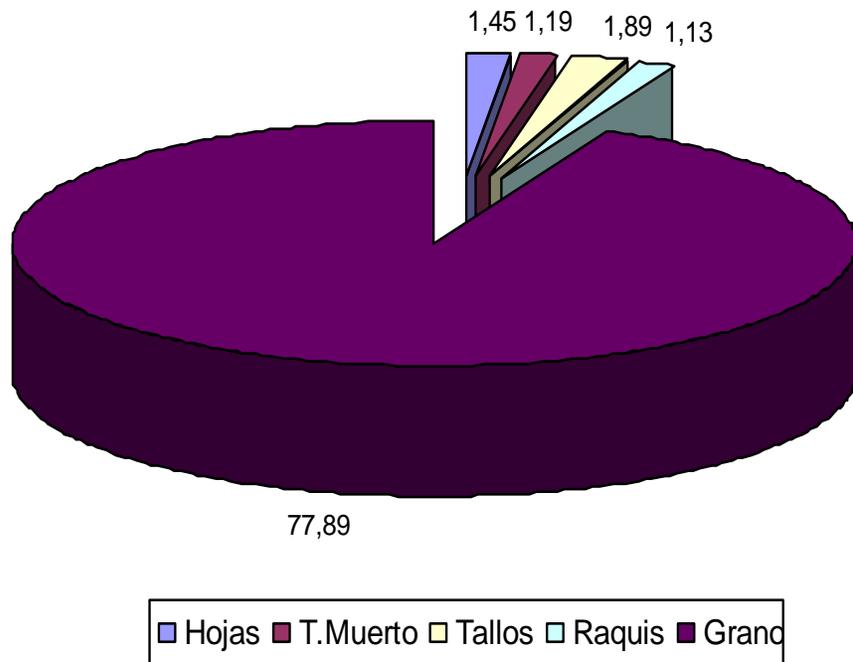
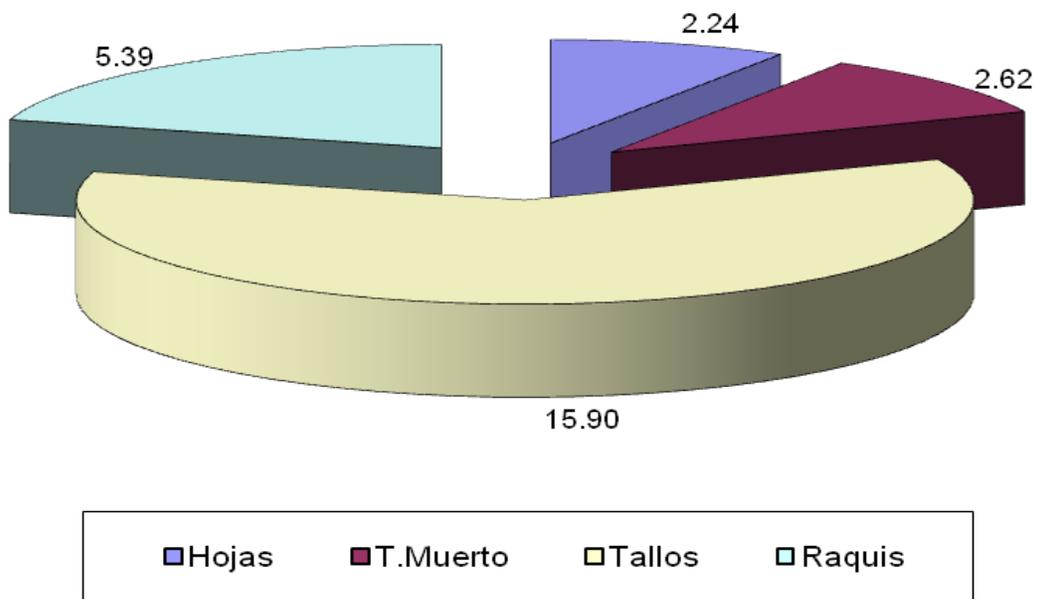


Figura 4.3. Distribución del Contenido de carbohidratos totales (%) en las diferentes partes de la planta para la variedad Cica 8. CIAT, Palmira (Valle).
Floración



Cosecha

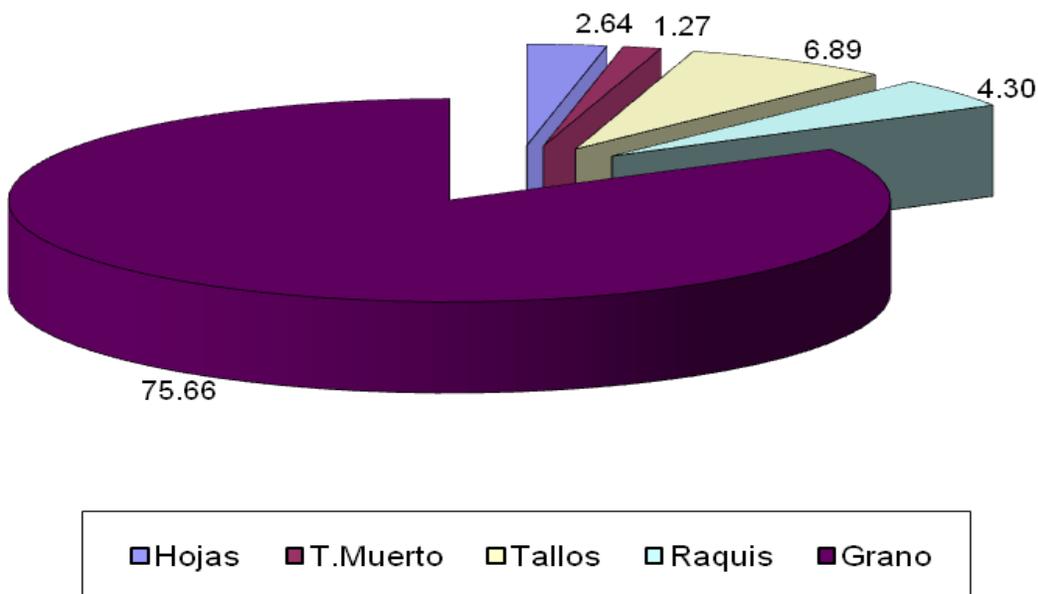


Figura 4.4. Distribución del Contenido de carbohidratos totales (%) en las diferentes partes de la planta para el grupo de variedades Cica's, excepto Cica 8. CIAT, Palmira (Valle).

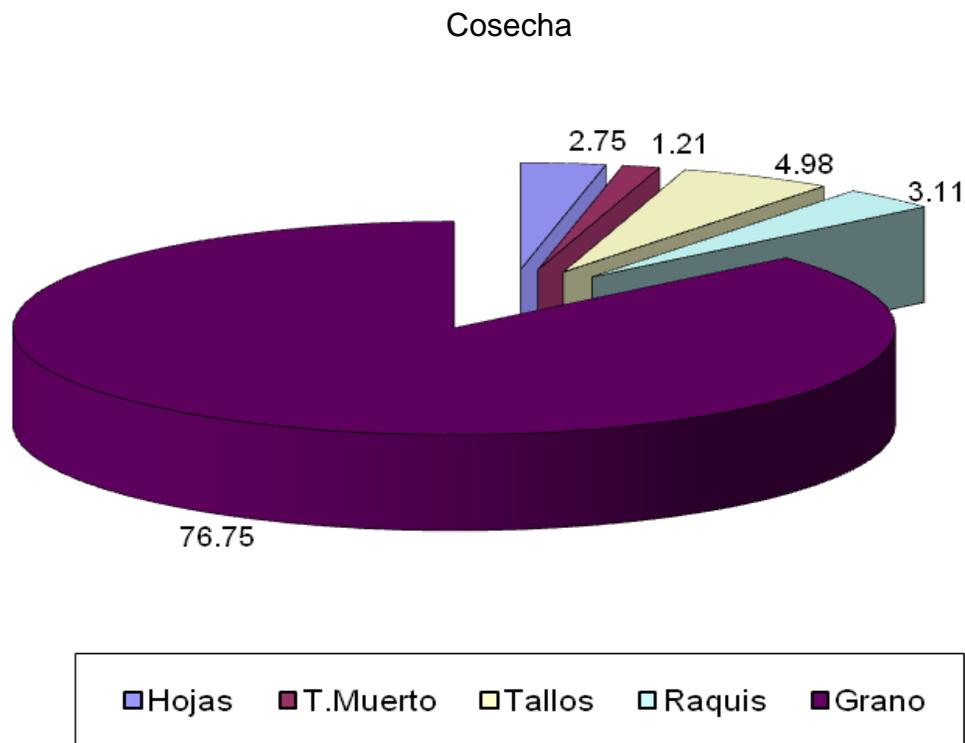
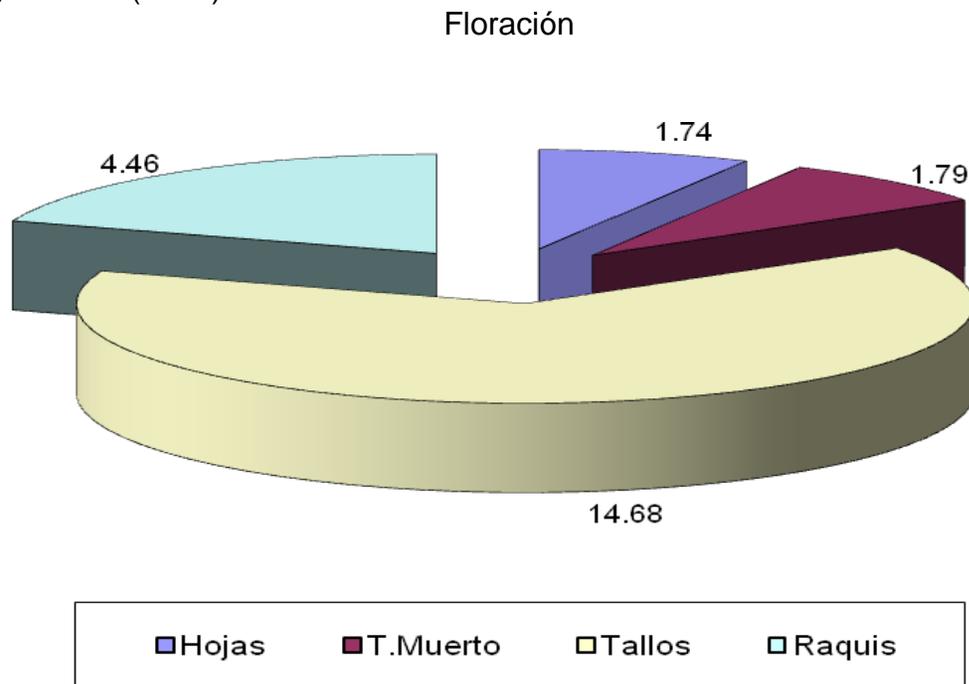


Figura 4.5. Distribución del Contenido de carbohidratos totales (%) en las diferentes partes de la planta para el grupo de variedades Oryzica's. CIAT, Palmira (Valle).

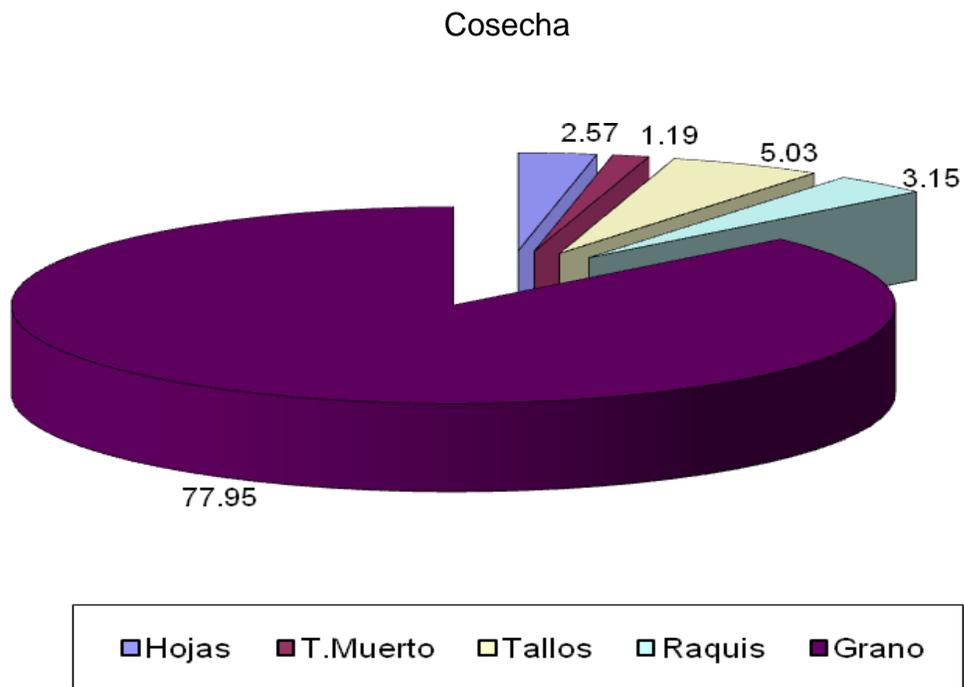
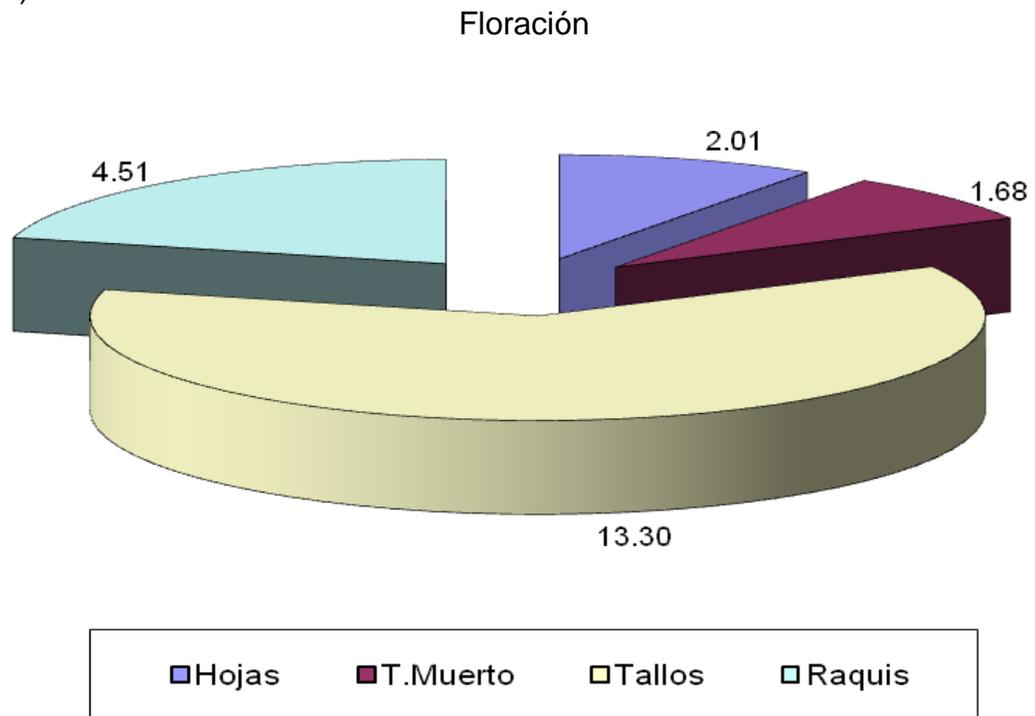


Figura 4.6. Distribución del Contenido de carbohidratos totales (%) en las diferentes partes de la planta para el grupo de variedades liberadas para los Llanos Orientales. CIAT, Palmira (Valle).

Cuando se estudió la posible contribución de las hojas al llenado de grano, mutilando unas plantas al momento de la floración, se encontró que la acumulación de carbohidratos en plantas normales era mayor que en las plantas mutiladas, sin embargo, en variedades como Cica 8, Oryzica 2, Oryzica 1, se presentaron promedios similares; en el caso de Cica 8, variedad con el tercer rendimiento entre las 14 evaluadas, se demuestra una alta eficiencia de translocación, dejando muy pocos carbohidratos en el residuo de cosecha.

Caso contrario ocurre con la variedad Blue Bonnet 50, que presenta una significativa diferencia en la contribución de carbohidratos entre plantas normales (96.2%) y las mutiladas (82.65%), demostrando que no es eficiente en la translocación de fotosintatos.

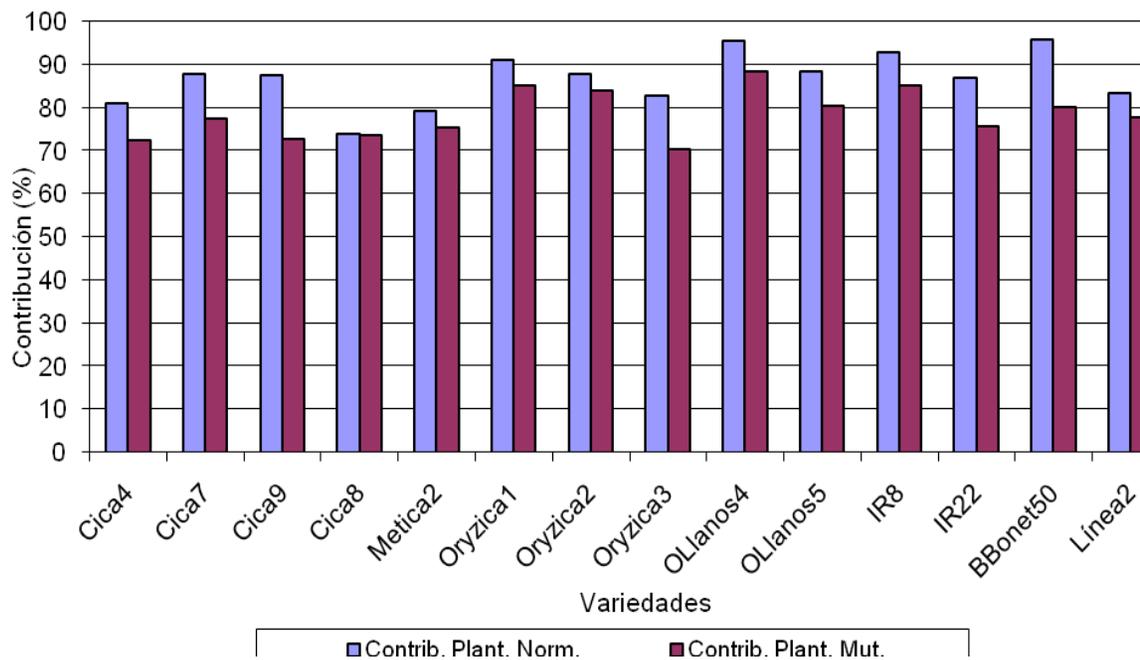


Figura 4.7. Contribución (%) de los carbohidratos acumulados en floración a los carbohidratos del grano en plantas normales y mutiladas en las 14 variedades en el semestre B. CIAT, Palmira (Valle).

A partir de la Figura 44 hasta la 47, se observan los contenidos de nitrógeno por grupo de variedades en los semestres evaluados. En general, se presentó una tendencia muy clara del efecto ambiental sobre el contenido de nitrógeno para

todas las variedades, siendo afectado su valor en el segundo semestre, donde no hubo un incremento en el momento de floración, hasta un valor promedio de 2.5%, lo que si ocurrió en el primer semestre; este incremento en el porcentaje de nitrógeno al momento de floración, fue mayor en las variedades introducidas que en las seleccionadas.

Entre variedades, a pesar de que se presentan pequeñas diferencias, el patrón es similar a través del tiempo; sin embargo, se puede afirmar que las variedades presentan un contenido de nitrógeno alto al inicio (25 dde), cerca del 3.5% para las variedades más modernas y de 3.0% en las variedades introducidas y cerca de 0.5% al momento de la cosecha en todos los materiales.

En la Figura 4.8, se observan 3 patrones diferentes de la movilización del nitrógeno, sobresaliendo la variedad IR 8 con un valor cercano al 3% en el semestre A, y 1.4% en el semestre B, donde todas las variedades fueron afectadas en su contenido de nitrógeno por las condiciones ambientales.

Dentro del grupo de las Cica's, Figura 4.9, no existen patrones claros para la movilización del nitrógeno, solamente la variedad Cica 9 se diferencia un poco de las otras en el semestre A, debido a que es más precoz que las demás variedades del grupo.

Por su parte en el grupo de las variedades de las Oryzica's y la Línea 2, Figura 4.10, no se presentan diferencias muy marcadas, solamente sobresale la variedad Oryzica 1 en el semestre A, debido a que su floración ocurre primero que las otras variedades, se adelanta un poco del resto pero el patrón de movilización es similar. En el semestre B, la variedad Oryzica 3 presenta valores más altos que las demás variedades del grupo en las primeras etapas pero luego presenta el mismo comportamiento de las otras.

En la Figura 4.11, aparecen los valores promedios en el contenido de nitrógeno para las variedades liberadas para los Llanos Orientales, los cuales permiten ver patrones diferentes entre las variedades, sobresaliendo O. Llanos 4, que presenta valores más altos que las otras variedades, especialmente en el semestre A.

Se puede concluir que existe una tendencia de los materiales modernos a tener un mayor contenido de nitrógeno en edades tempranas, siendo una característica de interés para tener en cuenta en la selección.

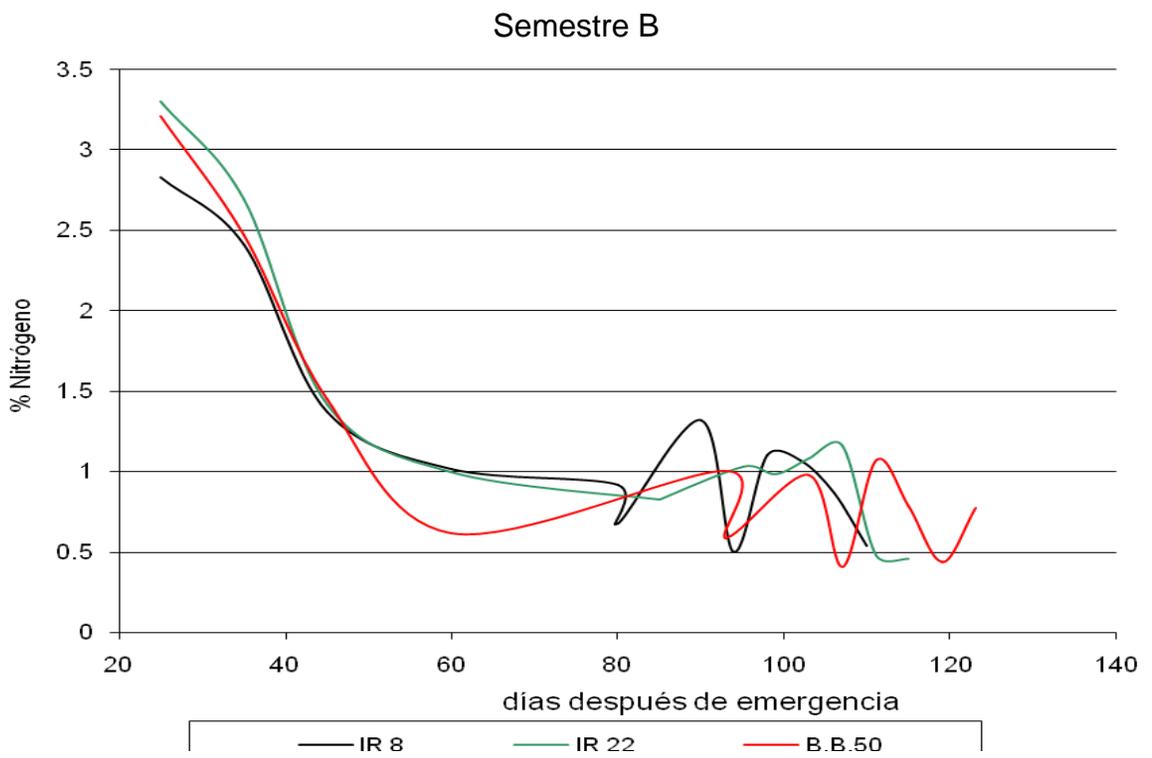
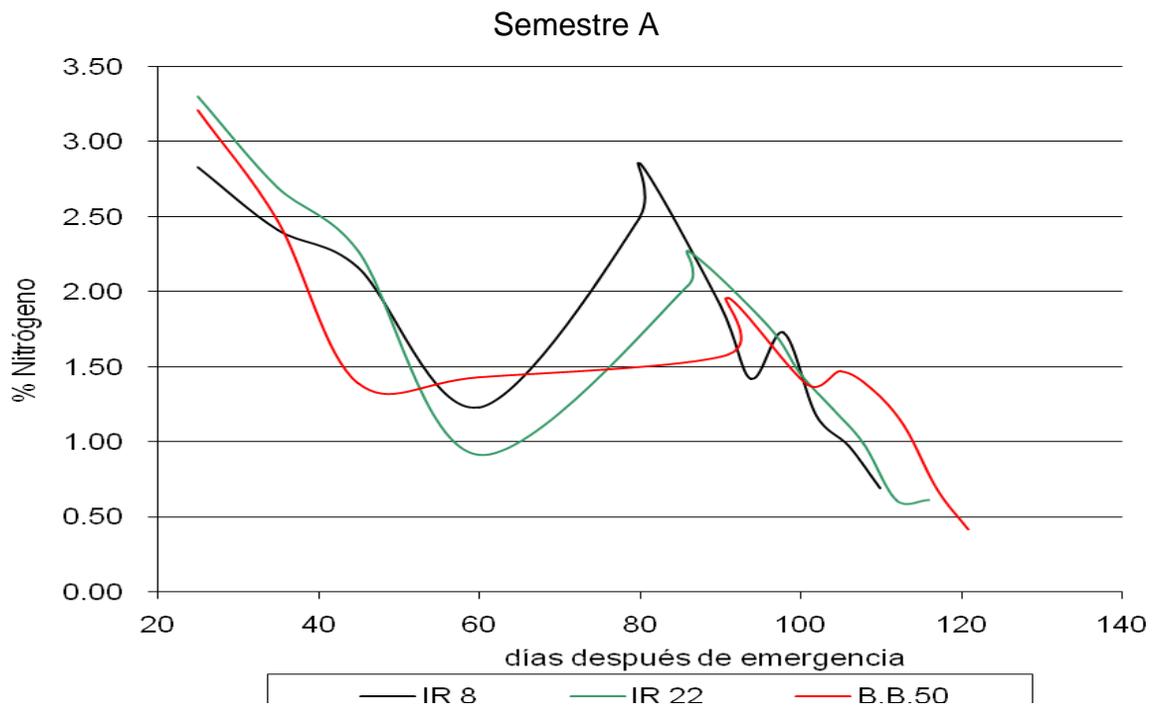
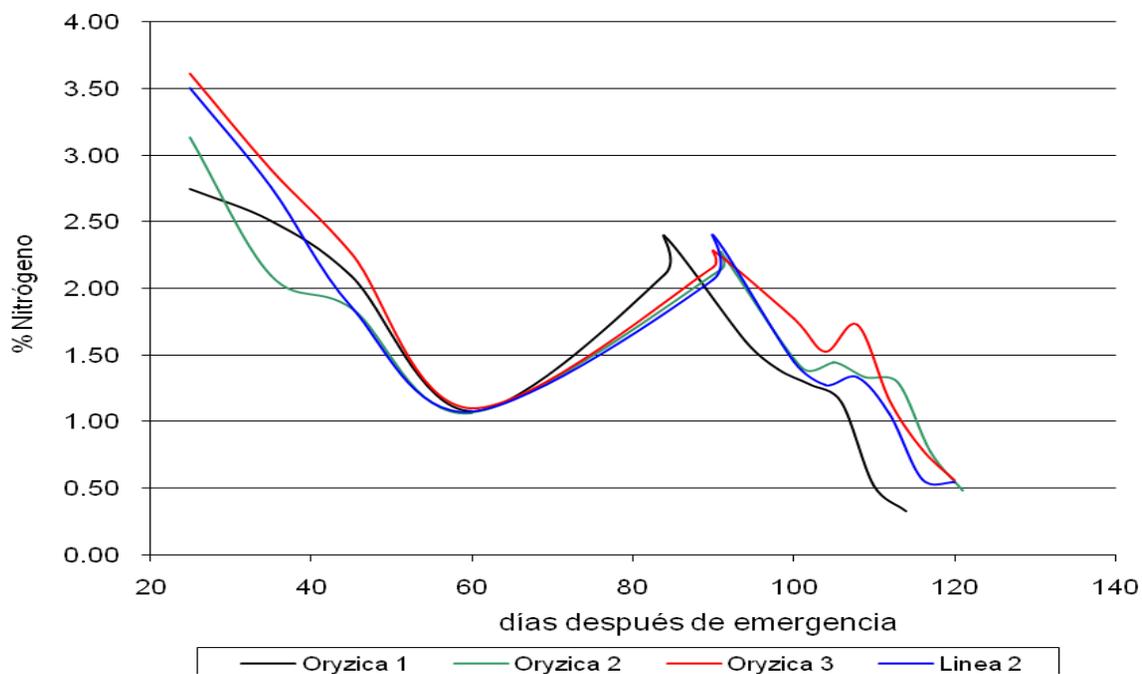


Figura 4.8. Distribución del Contenido de nitrógeno (%) a través del tiempo para el

grupo de las variedades introducidas. CIAT, Palmira (Valle).
Semestre A



Semestre B

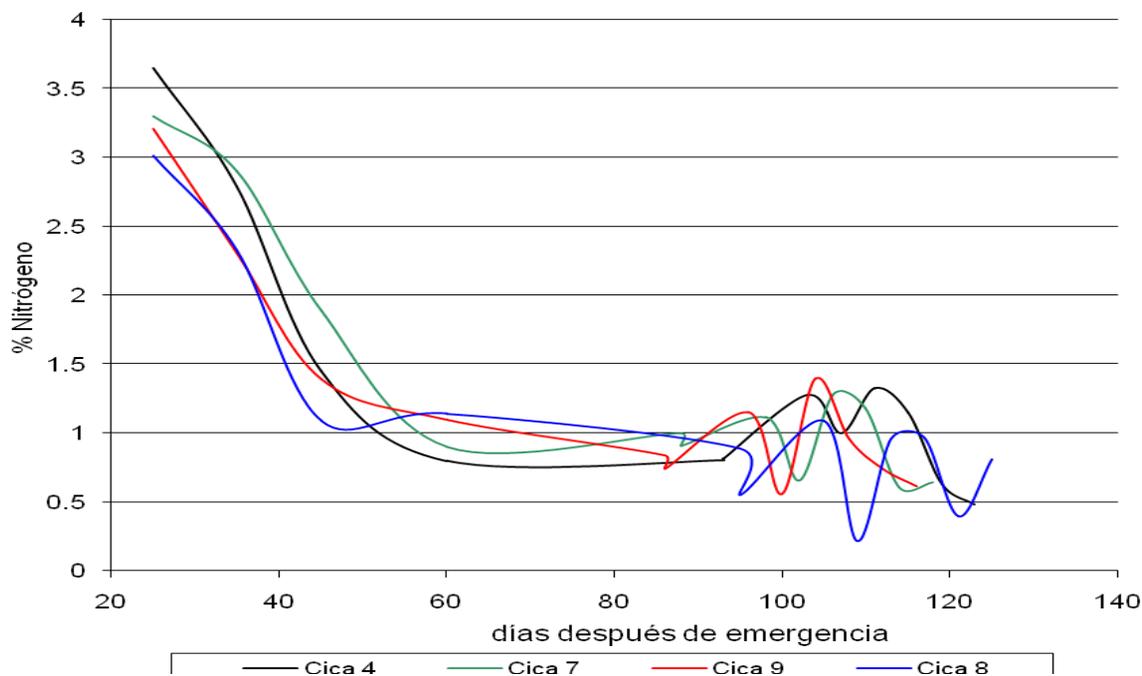
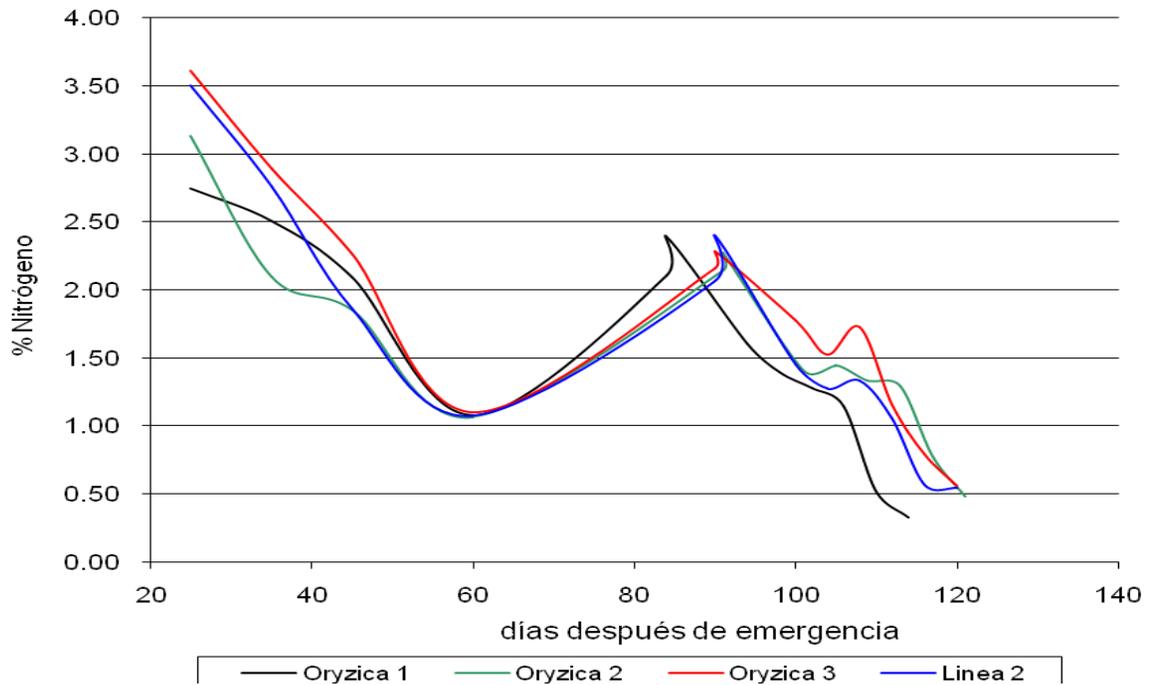


Figura 4.9. Distribución del Contenido de nitrógeno (%) a través del tiempo para el

grupo de las variedades Cica's. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Palmira (Valle).

Semestre A



Semestre B

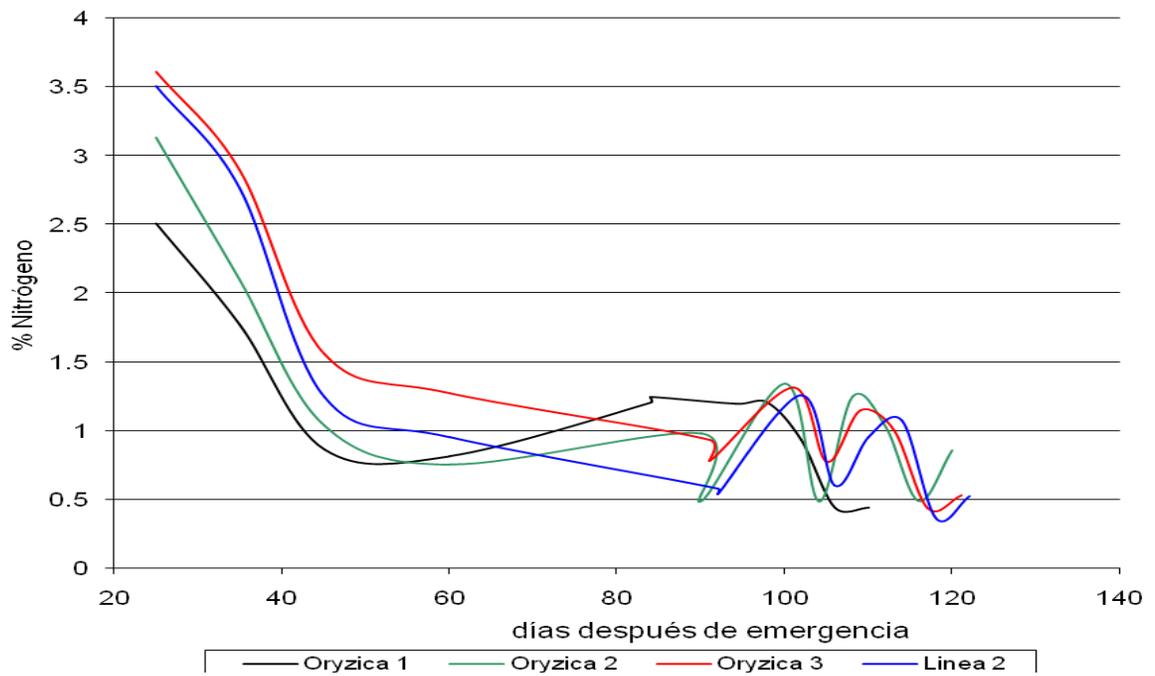
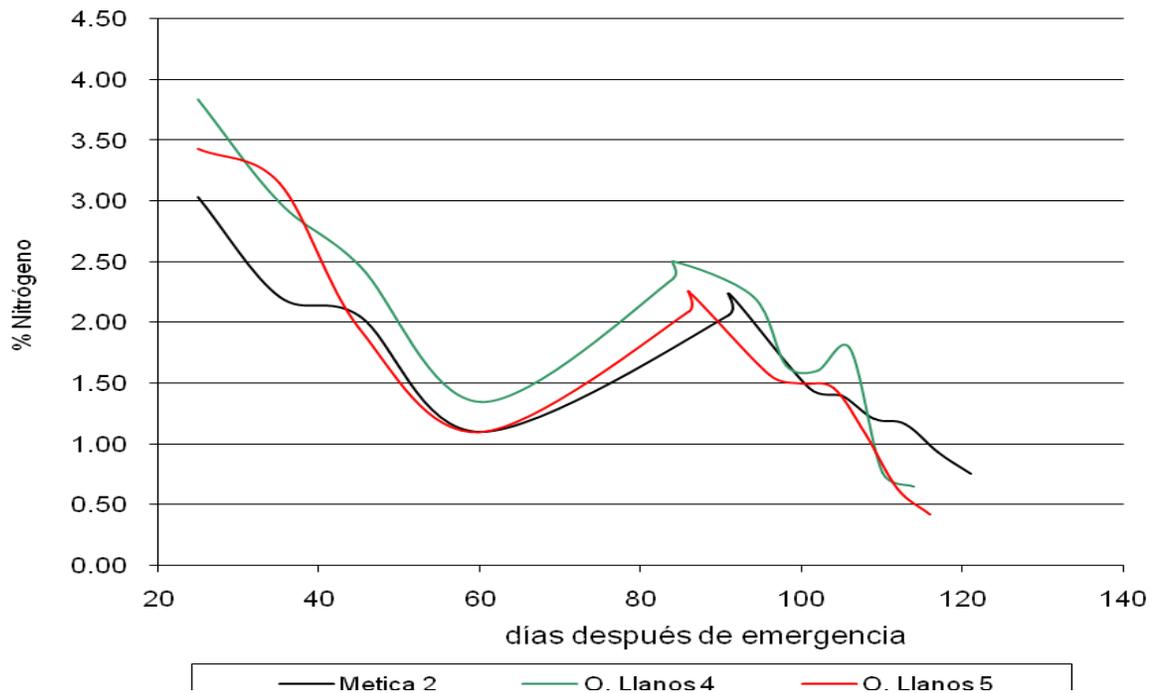


Figura 4.10. Distribución del Contenido de nitrógeno (%) a través del tiempo para el grupo de las variedades Oryzica's y la Línea 2. CIAT, Palmira (Valle).

Semestre A



Semestre B

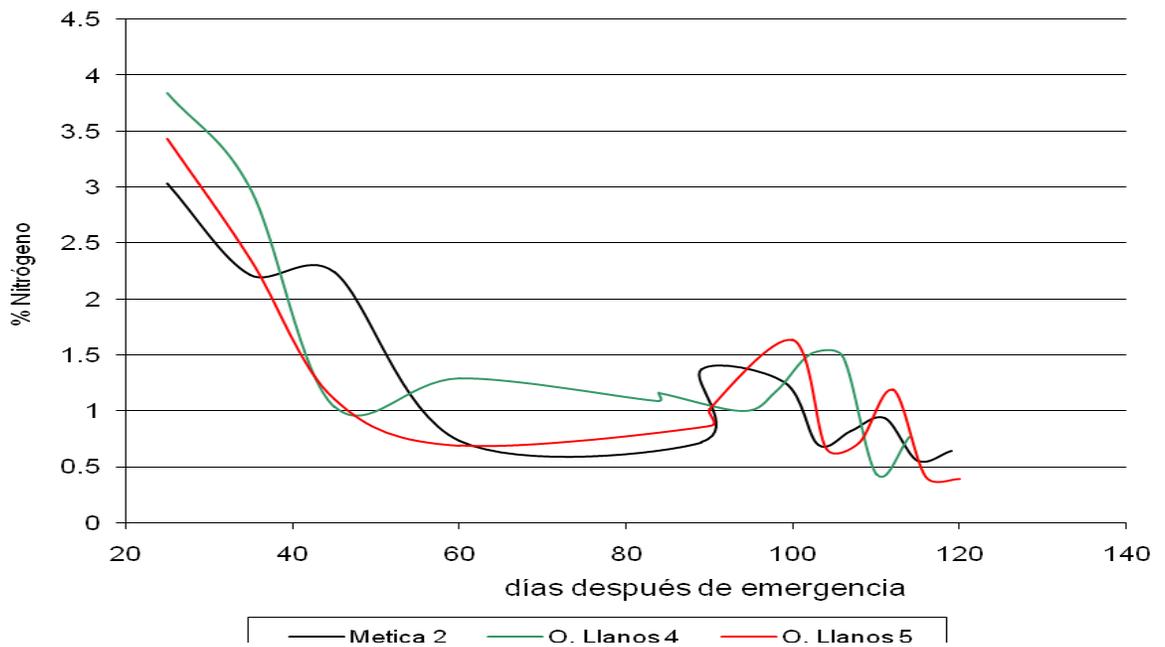


Figura 4.11. Distribución del Contenido de nitrógeno (%) a través del tiempo para el grupo de las variedades liberadas para los Llanos Orientales. CIAT, Palmira (Valle).

4.7 AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus más sinceros agradecimientos a las siguientes personas:

Albert J. Fischer, I.A., Ph. D. Jefe del programa de Fisiología de arroz (CIAT), por su acertada dirección del trabajo, en la primera etapa del trabajo.

Franco Alirio Vallejo Cabrera, I.A., Ph. D. Director del trabajo y profesor titular de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, por su acertada dirección, en la fase final del trabajo.

Diosdado Baena García, I.A., Ph. D. Director Profesor asociado de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, por su invaluable colaboración.

Sara Mejía de Tafur, I.A., Ph. D. Profesora asociada de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, por sus importantes observaciones.

Edgar Ivan Estrada Salazar, I.A. M. Sc. Profesor asociado de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, por sus oportunas correcciones.

A los Ingenieros Héctor V. Ramírez, I.A. M. Sc. y Jaime Lozano F., I.A. M. Sc., Investigadores asociados del programa de fisiología de arroz (CIAT), por la valiosa colaboración prestada.

Personal de los programas de Fisiología de arroz y Utilización de yuca del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

4.8 BIBLIOGRAFIA

Beachell, H.M, and P.R. Jennings. 1965. Need for modification of plant type. In: The mineral nutrition of the rice plant. John Hopkins Press, Baltimore (USA). p 29-35.

Below, F.E. 2004. Nitrogen metabolism and crop productivity. In: Handbook of plant and crop physiology. M. Pessarakli (Ed.). Marcel Dekker, Inc, New York. p 385-420.

Biswas, A.K., and M.A. Choudhuri. 1980. Mechanism of monocarpic senescence in rice. *Plant Physiol.* 65: 340-345.

Blanco, P. 1992. Crecimiento y partición de asimilados en cultivares de arroz de diferente ciclo. *Arroz (Urug.)* 11 (18): 26-31.

Cock, J. H., and S. Yoshida. 1972. Accumulation of ^{14}C -labelled carbohydrate before flowering and its subsequent redistribution and respiration in the rice plant. *Proc. Crop. Sci. Soc. of Japan.* 41 (1): 226-234.

Dingkuhn, M. et al. 1991. Concepts for a new plant type for direct seeded flooded tropical rice. In: Directed seeded flooded rice in the tropics, selected papers from the International Rice Research Conference, Philippines. p 17-38.

Hendrix, J.E. 2004. Production-related assimilate transport and partitioning. In: Handbook of plant and crop physiology. M. Pessaraki (Ed.). Marcel Dekker, Inc, New York. p 421-429.

Jennings, P. R. et al. sf. A Breeding Strategy To Increase Rice Yield Potential. www.ciat.cgiar.org/biotechnology/pdf/jennings.pdf

Jennings, P. R. 2005. Reflexiones sobre las revoluciones en arroz. En: Foro FLAR 10 años. 13-17 p.

Lian, S., and A. Tanaka. 1967. Behavior of photosynthetic products associated with growth and grain production in the rice plant. *Plant and soil* 26 (2): 333-347.

Murata, Y., and Y. Togari. 1972. Analysis of the effect of climate factor upon the productivity of rice at different localities in japan. *Proc. Crop Sci. Soc. of Japan* 41 (1): 372-386.

Murayama, N., Oshima, M. and S. Tsukahara. 1961. Studies on the dynamic status of substances during ripening processes in the rice plant. *J. of the Sci. Soil Manure of Japan* 32: 261-265.

Ntanos, D. A. and S. D. Koutroubas. 2001. Dry matter and N accumulation and translocation for Indica and Japonica rice under Mediterranean conditions.

Oshima, M. 1966. On the translocation of ^{14}C assimilated at various growth stages to grains in rice plants. *J. of the Sci. Soil Manure of Japan* 37: 589-593.

Smyth, D., Repetto, B. and N. Seidel. 1986. Cultivars differences in soluble sugars content of mature rice grain. *Physiol. Plant.* 68: 367-374.

Takai, T. et al. 2005. Rice yield potential is closely related to crop growth rate during late reproductive period. In: *Field Crops Research* 96 (2-3): 328-335.

Tanaka, A., Kawano, K. and J. Yamaguchi. 1966. Photosynthesis, Respiration, and plant tipe of the tropical rice plant. In: *Technical Bulletin 7.* IRRI. Los Baños, Philippines.

Tanaka, A., and B.S. Vergara. 1967. Growth habit and ripening of rice plants in relation to environmental conditions in the farm east. In: *I.R.C. Newsletter (Special Issue):* 26-42.

Thorne, G.N. 1966. Physiological aspects of grain yield in cereals. In: *The growth of cereals and grasses.* F.L. Milthorpe, and J.D. Ivines (ed.). p 88-105.

Van Tran, D. 1986. Grain yields and carbohydrate partitioning during development of near-isogenic lines of rice (*Oryza sativa* L.) differing in maturity. Ph.D. Thesis. University of California. 176 p.

Vergara, B.S. et al. 1966. Relationship between growth duration and grain yield of rice plant. *Soil Sci. and Plant Nutrit.* 12 (1): 31-39.

Virk, P.S., Khush, G.S. and Peng, S. 2004. Breeding to enhance yield potential of rice at IRRI: the ideotype approach. In: *IRRN* 29.1

Wardlaw, I. F. 1990. The control of carbon partitioning in plants. *New Phytologist* 116 (3): 341. Tansley Review No. 27.

Yoshida, S., and S.B. Ahn. 1968. The accumulation process of carbohydrates in rice varieties in relation to their response to nitrogen in the tropics. *Soil Sci. and Plant Nutrit.* 14 (4): 153-161.

Yoshida, S. 1976. Physiological consequences of altering plant type and maturity. In: *Proceedings of the International Rice Conference Held.* IRRI. Mimeographed.

_____. 1981. *Fundamentals of rice crop science.* IRRI. 269 p.

5. CONCLUSIONES

Al evaluar durante dos semestres seguidos las 14 variedades colombianas, representantes de diversos ciclos de mejoramiento, se pudo comprobar la existencia de un “estancamiento” o aumento mínimo en los rendimientos, la capacidad de rendimiento de las variedades modernas no es significativamente superior a las originales. Esta situación se debe principalmente a que las variedades colombianas comparten una base genética común, siendo las primeras variedades utilizadas en el proceso de obtención de las más modernas; además de esto, en los últimos procesos de mejoramiento se buscó el ajuste del tipo de planta semienano.

Se encontró que a través de los ciclos de mejoramiento se ha hecho énfasis en algunos parámetros de selección, tales como el índice de cosecha y precocidad, el cual ha sido tenido en cuenta en las variedades introducidas (IR-8), primeras variedades seleccionadas (Cica 9) y las más modernas (Oryzica 3 y O. Llanos 4), siendo posiblemente necesario centrar su interés en otros parámetros.

Se observa otra tendencia clara a través del tiempo en los procesos de mejoramiento, en los primeros ciclos se hizo énfasis en la variable de peso de 1000 semillas como parámetro de selección en procura de obtener mayor rendimiento de grano; sin embargo, en las variedades más modernas, grupo de las variedades Oryzica's, aparentemente perdió interés como parámetro de selección, quedando un vacío en el aumento de rendimiento de grano/ha y siendo necesario compensar con otros componentes.

Una característica a la que se le ha prestado gran interés en los últimos ciclos de mejoramiento es la del período de llenado de grano, el cual está presente en el grupo de las Oryzica's, condición buscada en el nuevo tipo de planta y que favorece al rendimiento porque presenta mayor tiempo para la translocación de fotosintatos al grano.

Otra característica de mucho interés en la actualidad, corresponde a la senescencia, la cual no fue tomada en cuenta en los primeros ciclos de mejoramiento y solamente a partir de la variedad Fedearroz 50, ahora se le considera como una de las posibilidades para incrementar la eficiencia fisiológica, debido a su lenta senescencia y a que su follaje permanece más tiempo verde. Este parámetro ha sido incluido en los tipos de planta propuestos por el IRRI (1994) y el FLAR (2006).

La primera variedad introducida, Blue Bonnet 50, a pesar de que presenta uno de los mayores valores en el contenido de carbohidratos en el grano y en la longitud de la panícula, no se traduce en rendimiento de grano por el efecto de otras variables que no contribuyen al rendimiento, tales como el número de panículas/m², índice de cosecha y peso de 1000 semillas, donde presenta bajos promedios; además de esto, presenta un alto valor de carbohidratos en los tallos al momento de la cosecha, dejando de translocar al grano una fracción importante que quedaría en los residuos de cosecha

El patrón de movilización del nitrógeno ha sido similar a través de los diferentes ciclos de mejoramiento; todas las variedades presentan un contenido de nitrógeno alto al inicio (25 dde), cerca del 3.5% para las variedades más modernas y de 3.0% en las variedades introducidas y cerca de 0.5% al momento de la cosecha en todos los materiales. Esta tendencia de los materiales modernos a tener un mayor contenido de nitrógeno en edades tempranas, se puede incluir como una característica de interés para tener en cuenta en la selección.

Cuando se estudió la posible contribución de las hojas al llenado de grano, mutilando unas plantas al momento de la floración, se encontró que la acumulación de carbohidratos en plantas normales era mayor que en las plantas mutiladas; sin embargo, se presentaron promedios similares para variedades antiguas como Cica 8, y modernas como Oryzica 2, Oryzica 1. Para el caso de Cica 8, variedad con el tercer rendimiento entre las 14 evaluadas, se demuestra una alta eficiencia de translocación, dejando muy pocos carbohidratos en el residuo de cosecha.

6. RECOMENDACIONES

Los programas de mejoramiento de arroz requieren centrar su interés en características como la distribución y acumulación de carbohidratos, así como la movilización del nitrógeno, las cuales requieren unas metodologías de laboratorio un tanto sofisticadas siendo necesario desarrollar unas pruebas más sencillas, en lo posible “kits” de campo.

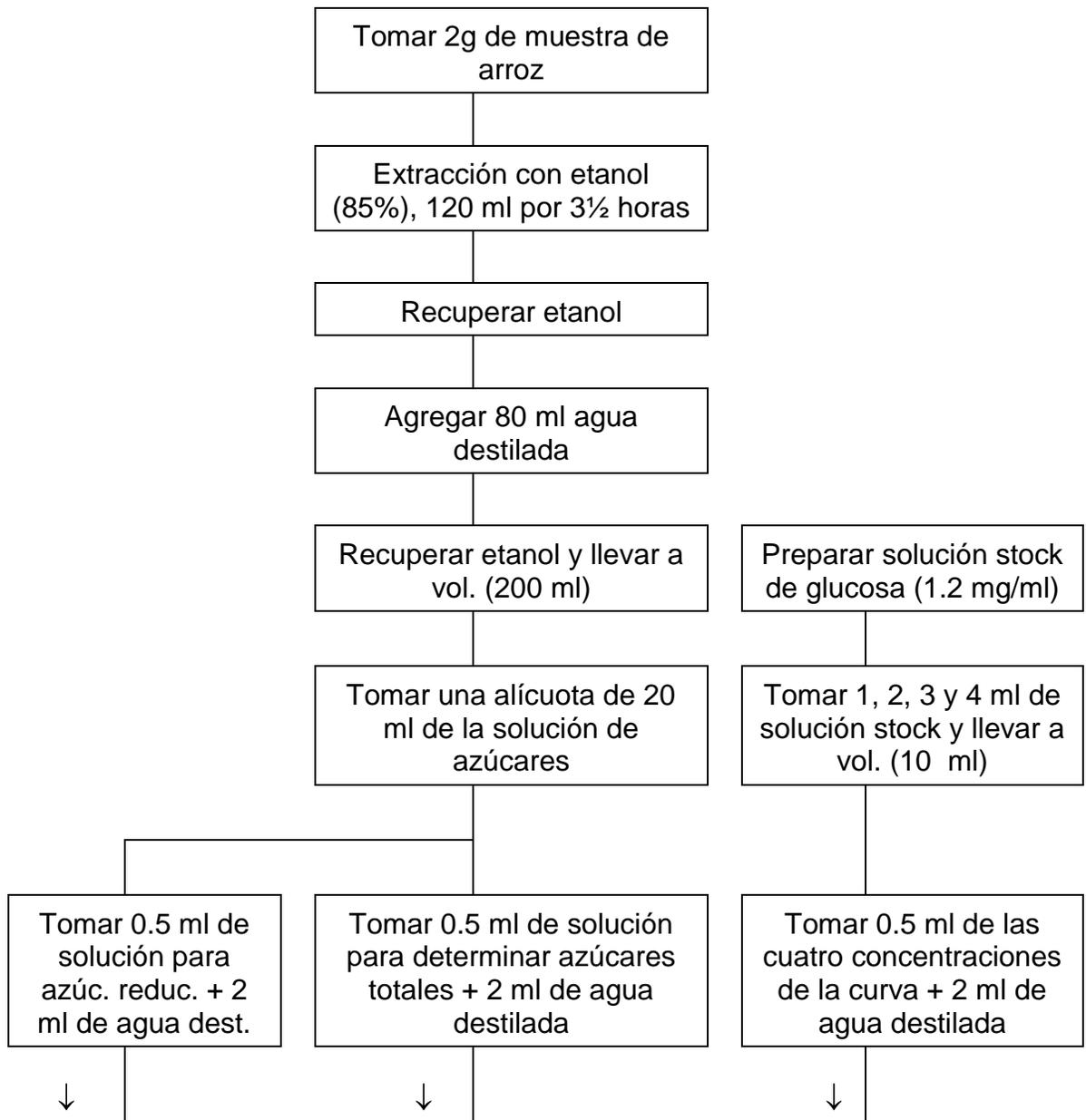
Muchos de las tasas de crecimiento no arrojaron resultados contundentes acerca de su relación con posibles incrementos en el rendimiento, siendo necesarios más estudios básicos que correlacionen estos aspectos con las variedades colombianas.

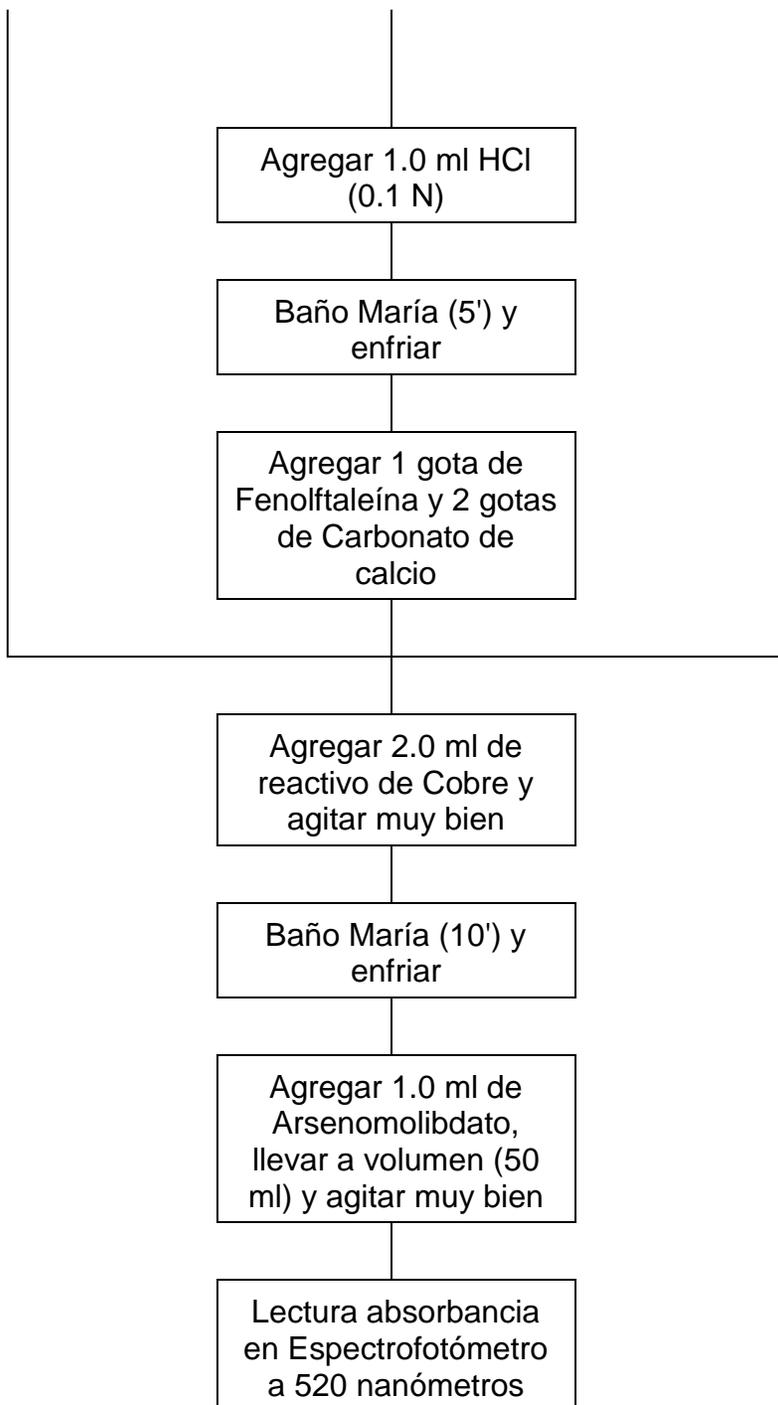
Se debe profundizar mucho más en el aspecto de la senescencia tardía, las hojas siempre verdes a cosecha (Stay Green), mayor tamaño de panícula, mayor período de llenado de grano y su posible contribución efectiva al rendimiento.

Por último, se debe ajustar el nuevo tipo de planta en arroz para las condiciones de Colombia.

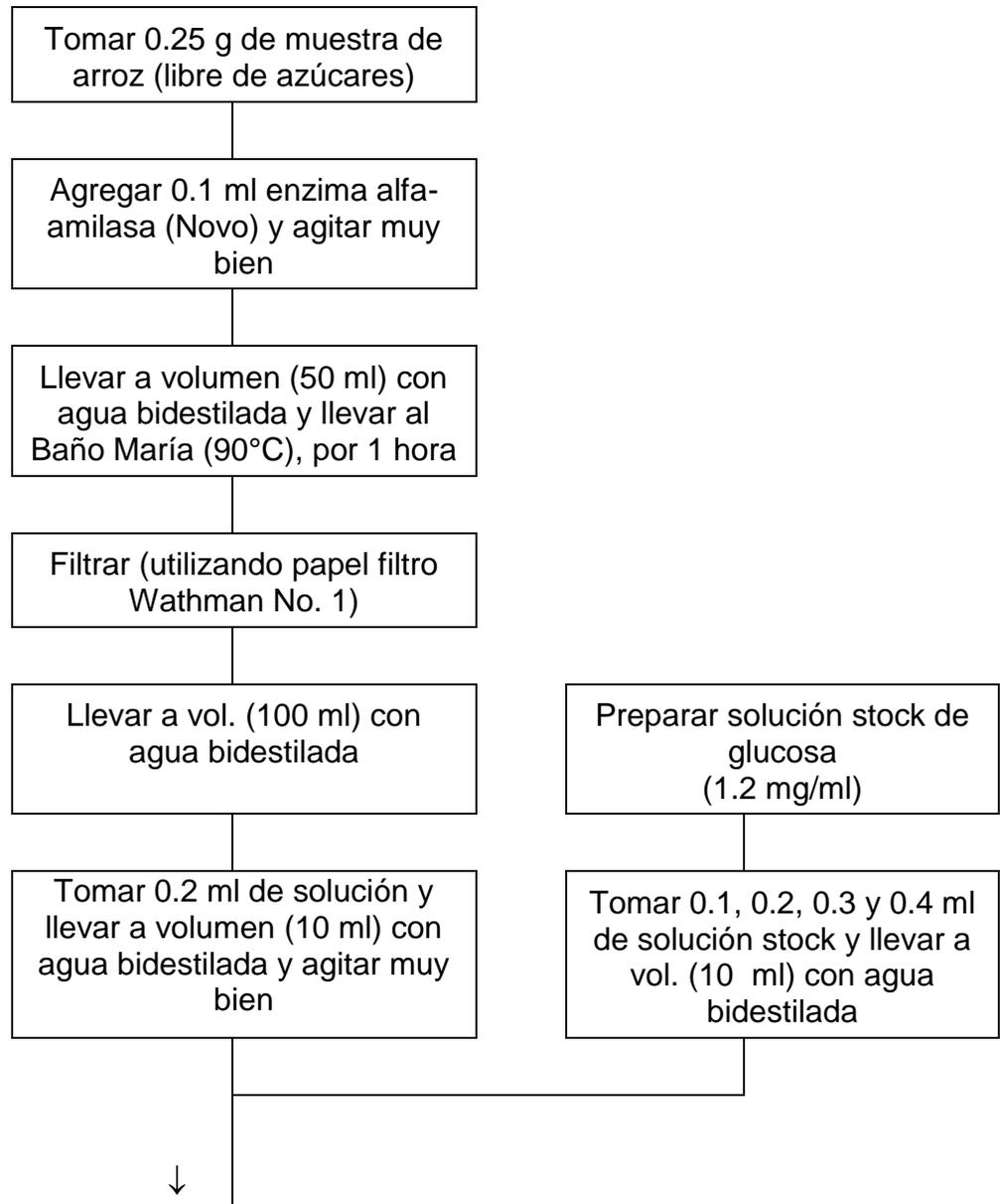
ANEXOS

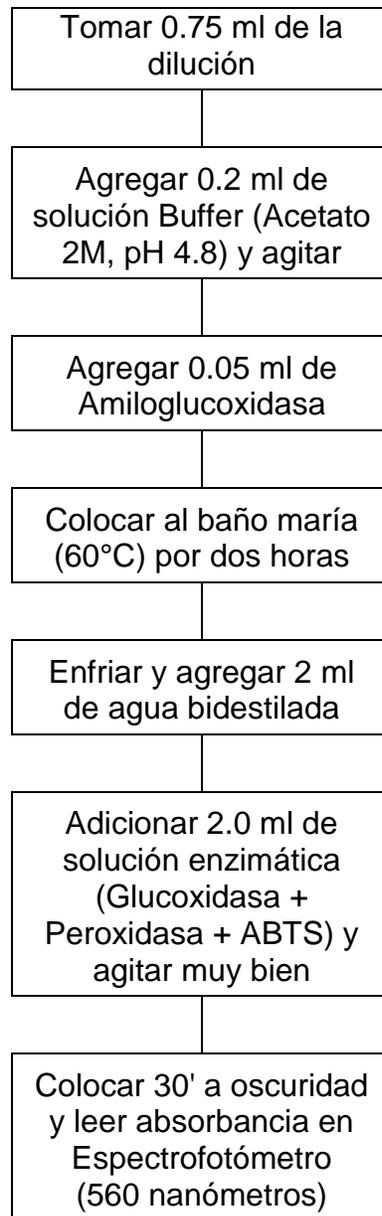
Anexo A. Procedimiento para determinar el contenido de azúcares en tejido vegetal (Laboratorio de Utilización de Yuca del Centro Internacional de Agricultura Tropical).





Anexo B. Procedimiento para determinar enzimáticamente el contenido de almidón en tejido vegetal (Laboratorio de Utilización de Yuca del Centro Internacional de Agricultura Tropical).





ANEXO C. Análisis de varianza para 9 variables de crecimiento y de rendimiento en 14 variedades de arroz Colombianas representantes de diversos ciclos de mejoramiento.

Tabla 1. Análisis de varianza combinado para el No. de tallos/planta de 14 variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) en dos semestres. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Palmira (Valle).

F. de V.	g.l.	S.C.	C.M.	Fc	Pr > F
Semestres	1	78.449	78.449	16.85	0.0063 **
Sem.*Rep.	6	27.939	4.656	7.70	0.0001
Variedades	13	128.015	9.847	17.35	0.0001 **
Sem.*Var.	13	22.301	1.715	3.02	0.0012 **
Variedad*Sem.*Rep.	78	44.276	0.568	0.94	0.6265
Edad	6	485.408	80.901	133.78	0.0001 **
Semestre*Edad	6	48.372	8.062	13.33	0.0001 **
Variedad*Edad	78	78.163	1.002	1.66	0.008 **
Semestre*Variedad*Edad	78	62.128	0.797	1.32	0.0450 *
Error	504	304.786	0.605		
Total Corregido	783	1279.837			

R² 0.76186 C.V.% 19.950 Desv. Estánd. 0.77765 Media 3.898

Tabla 2. Análisis de varianza combinado para el No. de tallos/m² de 14 variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) en dos semestres. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Palmira (Valle).

F. de V.	g.l.	S.C.	C.M.	Fc	Pr > F
Semestres	1	4544358.063	4544358.063	17.47	0.0058 **
Sem.*Rep.	6	1560660.334	260110.056	7.69	0.0001
Variedades	13	7460360.700	573873.900	17.47	0.0001 **
Sem.*Var.	13	1309594.170	100738.013	3.07	0.0011 **
Variedad*Sem.*Rep.	78	2561579.916	32840.768	0.97	0.5525
Edad	6	27775752.870	4629292.147	136.78	0.0001 **
Semestre*Edad	6	2635234.911	439205.819	12.98	0.0001 **
Variedad*Edad	78	4514705.094	57800.835	1.71	0.0004 **
Semestre*Variedad*Edad	78	3606754.482	46240.442	1.37	0.0272 *
Error	504	17057369.500	33843.987		
Total Corregido	783	73026370.040			

R² 0.76186 C.V.% 19.95 Desv. Estánd. 0.77765 Media 3.898

Tabla 3. Análisis de varianza combinado para la altura de planta de 14 variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) en dos semestres. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Palmira (Valle).

F. de V.	g.l.	S.C.	C.M.	Fc	Pr > F
Semestres	1	5765.148	5765.148	14.6	0.0087 **
Sem.*Rep.	6	2365.036	394.172	21.3	0.0001
Variedades	13	24653.168	1896.399	64.4	0.0001 **
Sem.*Var.	13	1584.673	121.898	4.1	0.0001 **
Variedad*Sem.*Rep.	78	2298.179	29.464	1.6	0.0019
Edad	6	496006.395	82657.727	4460.0	0.0001 **
Semestre*Edad	6	3736.013	622.669	33.6	0.0001 **
Variedad*Edad	78	12456.707	159.701	8.6	0.0001 **
Semestre*Variedad*Edad	78	1861.416	23.864	1.3	0.0601 ns
Error	504	9341.786	15.535		
Total Corregido	783	860068.490			

R² 0.98332 C.V.% 7.718 Desv. Estándar 4.30526 Media 55.776

Tabla 4. Análisis de varianza para el rendimiento de arroz paddy (kg/ha) de 14 variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) en el semestre A. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Palmira (Valle).

F. de V.	g.l.	S.C.	C.M.	Fc	Pr > F
Repeticiones	3	31567567.508	10522522.503	2.91	0.0463 *
Variedades	13	81666131.247	6282010.096	1.74	0.0906 ns
Error	39	140817603.180	3610707.774		
Total Corregido	55	254051301.934			

R² 0.44571 C.V.% 20.677 Desv. Estándar 1900.18625 Media 9190.008

Tabla 5. Análisis de varianza para el rendimiento de arroz paddy (kg/ha) de 14 variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) en el semestre B. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Palmira (Valle).

F. de V.	g.l.	S.C.	C.M.	Fc	Pr > F
Repeticiones	3	26036533.768	8678844.589	8.20	0.0002 **
Variedades	13	97655604.732	7511969.595	7.10	0.0001 **
Error	39	41282548.482	1058526.884		
Total Corregido	55	164974685.982			

R ²	C.V.%	Desv. Estándar	Media
0.74976	10.504	1028.84736	9794.732

Tabla 6. Análisis de varianza combinado para el rendimiento de arroz paddy (kg/ha) de 14 variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) en dos semestres. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Palmira (Valle).

F. de V.	g.l.	S.C.	C.M.	Fc	Pr > F
Semestres	1	10239366.976	10239365.976	1.07	0.3416 ns
Sem.*Rep.	6	57604101.275	9600683.546	4.11	0.0012
Variedades	13	142381823.027	10952447.925	4.69	0.0001 **
Sem.*Var.	13	36939912.952	2841531.766	1.22	0.2836 ns
Error	78	182100151.662	2334617.329		
Total Corregido	111	429265355.892			

R ²	C.V.%	Desv. Estándar	Media
0.57579	16.097	1527.94546	9492.370

Tabla 7. Análisis de varianza para la relación grano/paja de 14 variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) en el semestre A. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Palmira (Valle).

F. de V.	g.l.	S.C.	C.M.	Fc	Pr > F
-----------------	-------------	-------------	-------------	-----------	------------------

Repeticiones	3	0.1607	0.054	2.12	0.1137 ns
Variedades	13	0.670	0.052	2.04	0.0435 *
Error	39	0.987	0.025		
Total Corregido	55	1.818			

R² 0.45700 C.V.% 19.375 Desv. Estándar 0.15905 Media 0.821

Tabla 8. Análisis de varianza para la relación grano/paja de 14 variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) en el semestre B. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Palmira (Valle).

F. de V.	g.l.	S.C.	C.M.	Fc	Pr > F
Repeticiones	3	0.009	0.003	0.24	0.8679 ns
Variedades	13	1.487	0.114	8.75	0.0001 **
Error	39	0.510	0.013		
Total Corregido	55	2.006			

R² 0.74583 C.V.% 14.397 Desv. Estándar 0.11434 Media 0.794

Tabla 9. Análisis de varianza combinado para la relación grano/paja de 14 variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) en dos semestres. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Palmira (Valle).

F. de V.	g.l.	S.C.	C.M.	Fc	Pr > F
Semestres	1	0.020	0.020	0.70	0.4341 ns
Sem. * Rep.	6	0.170	0.030	1.48	0.1968
Variedades	13	1.453	0.112	5.82	0.0001 **
Sem. * Var.	13	0.704	0.054	2.82	0.0023 **
Error	78	1.500	0.019		
Total Corregido	111	3.843			

R² 0.61060 C.V.% 17.152 Desv. Estándar 0.13852 Media 0.808

Tabla 10. Análisis de varianza para la relación grano/peso seco total de 14 variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) en el semestre A. Centro Internacional de Agricultura Tropical

(CIAT), Palmira (Valle).

F. de V.	g.l.	S.C.	C.M.	Fc	Pr > F
Repeticiones	3	0.01343972	0.00447991	2.35	0.0870 ns
Variedades	13	0.05873647	0.00451819	2.37	0.0187 *
Error	39	0.07426022	0.00190411		
Total Corregido	55	0.14643640			

R ²	C.V.%	Desv. Estándar	Media
0.49288	9.787	0.04364	0.446

Tabla 11. Análisis de varianza para la relación grano/peso seco total de 14 variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) en el semestre B. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Palmira (Valle).

F. de V.	g.l.	S.C.	C.M.	Fc	Pr > F
Repeticiones	3	0.001	0.000	0.32	0.8110 ns
Variedades	13	0.146	0.011	9.49	0.0001 **
Error	39	0.046	0.001		
Total Corregido	55	0.193			

R ²	C.V.%	Desv. Estándar	Media
0.76119	7.882	0.03441	0.437

Tabla 12. Análisis de varianza combinado para la relación grano/peso seco total de 14 variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) en dos semestres. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Palmira (Valle).

F. de V.	g.l.	S.C.	C.M.	Fc	Pr > F
Semestres	1	0.002	0.002	1.09	0.3562 ns
Sem. * Rep.	6	0.015	0.002	1.57	0.1661
Variedades	13	0.158	0.011	7.39	0.0001 **
Sem. * Var.	13	0.056	0.004	2.81	0.0024 **
Error	78	0.120	0.002		
Total Corregido	111	0.342			

R ²	C.V.%	Desv. Estándar	Media
0.64807	8.906	0.03929	0.441

Tabla No. 13. Resumen del análisis de regresión múltiple Stepwise entre el rendimiento (variable dependiente) y algunas variables de crecimiento y componentes de rendimiento estudiados en 14 variedades de arroz de riego, y como estas características han sido modificadas por los años de selección precedentes a su liberación. Las variables fueron medidas fuera del área de cosecha.

Variable	Orden de entrada en el modelo	Signo de la pendiente en el modelo de regresión	P > F	Coefficiente de Correlación (r) con los años de selección	P > F
Índice de cosecha	1	+	0.003	-0.20	0.33
Peso de tallos (45 dde)	2	-	0.073	-0.18	0.39
Altura (75 dde)	3	+	0.039	0.28	0.17
Panículas/m ²	4	+	0.018	-0.13	0.51
Peso de tallos (15 dde)	5	+	0.0052	0.06	0.77
Índice de área foliar (25 dde)	6	-	0.052	-0.02	0.92
R ² Modelo = 0.92					

Tabla No. 14. Resumen del análisis de regresión múltiple Stepwise de la contribución al rendimiento de algunos componentes de rendimiento estudiados en 14 variedades de arroz de riego, y como estas características han sido modificadas por los años de selección precedentes a su liberación. Los componentes fueron medidos fuera del área de cosecha.

Variable	Orden de entrada en el modelo	Signo de la pendiente en el modelo de regresión	P > F	Coefficiente de Correlación (r) con los años de selección	P > F
Panículas/planta	1	+	0.002	0.38	0.24
No. Granos/panícula	2	+	0.049	-0.04	0.91
Peso de 1000 semillas	3	+	0.133	0.23	0.49
R ² Modelo = 0.75					

Tabla No. 15. Correlaciones del rendimiento de algunos componentes de rendimiento estudiados en 14 variedades de arroz de riego, y como estas características han sido modificadas por los años de selección precedentes a su liberación. Los componentes fueron medidos fuera del área de cosecha.

Variable de Crecimiento	Y ₂ = Rendimiento X= Variable de crecimiento	Y ₁ = Variable de crecimiento X = Año de liberación
Indice de Cosecha	0.73 (0.01) ¹	-0.03 (0.93) ns ³
Altura de planta	-0.79 (0.004) (15 dde) ²	ns
	-0.50 (0.12) (25 dde)	ns
	-0.51 (0.11) (35 dde)	ns
	-0.54 (0.09) (45 dde)	-0.42 (0.20) (45 dde)
Panículas/m ²	050 (0.02)	0.3 (0.22) ns
Granos/panícula		
Peso de 1000 semillas		
No. Tallos/planta	0.47 (0.14) (35 dde)	-0.55 (0.08) (45 dde)
Peso Hojas Verdes	-0.51 (0.11) (15 dde)	ns
	-0.54 (0.08) (35 dde)	ns
	-0.50 (0.11) (45 dde)	ns
Indice de área foliar	-0.58 (0.06) (15 dde)	ns
	-0.78 (0.04) (35 dde)	ns
	-0.55 (0.08) (45 dde)	ns
Peso foliar específico	0.52 (0.10) (15 dde)	0.36 (0.27) (15 dde)
	0.57 (0.10) (35 dde)	0.46 (0.2) (35 dde)
% Tejido Muerto	-0.47 (0.14) (floración)	ns

¹Probabilidad > t

²Tiempo cuando la muestra fue tomada en días después de la emergencia (dde)

³ns:P>0.2