

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

EFFECTO DEL DESARROLLO DE LA CANOPIA EN EL RENDIMIENTO DE
CULTIVARES DE ARROZ DE ALTO POTENCIAL SEGÚN DENSIDAD DE
SIEMBRA Y FERTILIZACIÓN NITROGENADA

por

Gabriel HERNÁNDEZ MICHELONI
Tilio LUCAS PEREIRA
Guzmán MOREIRA EGUREN

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo

MONTEVIDEO
URUGUAY
2012

Tesis aprobada por:

Director: -----
Ing. Agr. Fernando Blas Pérez de Vida

Ing. Agr. Oswaldo Ernst

Ing. Agr. Guillermo Siri

Fecha: 16 julio de 2012

Autor: -----
Gabriel Hernández Micheloni

Tilio Lucas Pereira

Guzmán Moreira Eguren

AGRADECIMIENTOS

Al director de la tesis Ing. Agr., MSc., PhD Fernando Blas Pérez de Vida.

A los funcionarios de la Sección Mejoramiento Genético: Daniel Ramírez y Carolina Sánchez.

A la Sra. Belky Mesones, encargada de biblioteca en Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Sede Treinta y Tres.

A nuestras familias, amigos, compañeros de generación y docentes.

A Facultad de Agronomía por esta posibilidad.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
2.1. <u>ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF)</u>	2
2.2. <u>CRECIMIENTO</u>	4
2.2.1. <u>El crecimiento de las plantas enteras</u>	5
2.2.2. <u>Potencial de rendimiento del arroz y la tasa de crecimiento del cultivo durante el período reproductivo tardío</u>	5
2.3. <u>BIOMASA</u>	8
2.4. <u>INDICE DE COSECHA</u>	12
2.4.1. <u>Generalidades</u>	12
2.4.2. <u>Influencia de factores ambientales</u>	15
2.4.2.1. <u>Densidad de población</u>	15
2.4.2.2. <u>Disponibilidad de agua</u>	16
2.4.2.3. <u>Nutrición nitrogenada</u>	17
2.4.3. <u>La interacción de los factores ambientales, rendimiento e índice de cosecha</u>	18
2.4.4. <u>Rendimiento biológico e índice de cosecha como criterio en el mejoramiento de cereales</u>	18
2.5. <u>RENDIMIENTO</u>	20
2.5.1. <u>Aspectos generales</u>	20
2.5.2. <u>Número de panojas por metro cuadrado</u>	23
2.5.3. <u>Número de granos por panoja</u>	24

2.5.4. <u>Porcentaje de esterilidad</u>	24
2.5.5. <u>Peso de grano</u>	25
2.5.6. <u>Algunos factores que afectan el rendimiento</u>	26
2.5.6.1. <u>Macollaje</u>	26
2.5.6.2. <u>Altura</u>	26
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	27
3.1. <u>UBICACIÓN</u>	27
3.2. <u>SUELOS Y MANEJOS PREVIOS</u>	27
3.3. <u>DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO</u>	27
3.4. <u>DISEÑO EXPERIMENTAL</u>	29
3.5. <u>DETERMINACIONES Y REGISTROS</u>	32
3.5.1. <u>Evolución del macollaje</u>	32
3.5.2. <u>Evolución de la altura</u>	32
3.5.3. <u>Evolución de la materia seca</u>	32
3.5.4. <u>Evolución del área foliar</u>	34
3.5.5. <u>Cálculo de índices</u>	34
3.5.6. <u>Rendimiento</u>	35
3.5.6.1. <u>Componentes de rendimiento</u>	35
3.5.6.2. <u>Índice de cosecha</u>	36
3.6. <u>ANÁLISIS ESTADÍSTICO</u>	36
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	37
4.1. <u>MACOLLAJE</u>	43
4.2. <u>ALTURA DE PLANTAS</u>	49
4.3. <u>ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF)</u>	53

4.4. BIOMASA.....	56
4.4.1. <u>Biomasa total</u>	56
4.4.2. <u>Materia seca de hojas</u>	57
4.4.3. <u>Materia seca en vainas</u>	60
4.4.4. <u>Materia seca de tallos</u>	61
4.4.5. <u>Materia seca de panojas</u>	62
4.4.6. <u>Evolución de la MS total y sus componentes</u>	63
4.5. TASA DE ÁREA FOLIAR (LAR).....	69
4.6. TASA DE PESO DE HOJAS (LWR).....	71
4.7. ÁREA ESPECÍFICA DE HOJA (SLA).....	72
4.8. TASA DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO (TCC g/m ² /día)..	74
4.9. TASA DE CRECIMIENTO DE CULTIVO RELATIVA.....	75
4.10. TASA DE ASIMILACIÓN NETA (TAN g/m ² /día).....	77
4.11. RENDIMIENTO FÍSICO.....	78
4.12. NÚMEROS DE PANOJAS POR METRO CUADRADO..	79
4.13. NÚMERO DE GRANOS TOTALES/PANOJAS.....	81
4.14. NÚMERO DE GRANOS TOTALES/M ²	82
4.15. PESO MIL GRANOS.....	83
4.16. % ESTERILIDAD.....	84
4.17. ÍNDICE DE COSECHA.....	84
4.18. CLUSTER ANALISIS.....	85
4.19. FORMACIÓN DEL RENDIMIENTO.....	90
5. <u>CONCLUSIONES</u>	94
6. <u>RESUMEN</u>	96
7. <u>SUMMARY</u>	98
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	100
9. <u>ANEXOS</u>	104

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Esquema No.	Página
1. Diseño del experimento.....	30
2. Diagrama de muestreo.....	33
3. Modelo de formación de rendimiento para el Grupo A.....	91
4. Modelo de formación de rendimiento para el Grupo B.....	92
Figura No.	
1. Número de tallos/m ² según densidad y cultivar.....	45
2. Número de tallos/m ² según nitrógeno y cultivar.....	46
3. Número de tallos/m ² según período y cultivar.....	47
4. Número de tallos/m ² según período y densidad para todos los cultivares.....	48
5. Altura (cm) según densidad y cultivar.....	50
6. Altura (cm) según momento fenológico y cultivar.....	51
7. Índice de área foliar según densidad y cultivar.....	54
8. Biomasa en hojas ((kg/m ²)) según momento fenológico y cultivar.....	59
9. Biomasa de vainas (kg/m ²) según cultivar y periodo.....	61
10. Evolución de la MS total y sus componentes para Avaxi.....	64
11. Evolución de la MS total y sus componentes para El Paso 144.....	65
12. Evolución de la MS total y sus componentes para Olimar.....	66
13. Evolución de la MS total y sus componentes para Inov.....	67
14. Evolución de la MS total y sus componentes para L5502.....	68
15. LAR según momentos fenológicos y cultivar.....	70
16. Rendimiento Kg/ha según densidad y cultivar.....	79
17. Números de panojas/m ² según densidad y cultivar.....	80
18. Número de granos totales/m ² según densidad y cultivar.....	83

19. Porcentaje (%) de casos para cada cultivar según tipo de crecimiento.....	87
20. Porcentaje (%) de casos del grupo A para cada cultivar según densidad.....	88
21. Porcentaje (%) de casos en el grupo B para cada cultivar según densidad.....	89

Tabla No.

1. Número de plantas al inicio por metro cuadrado según cultivar y densidad.....	28
2. Variables relacionadas con biomasa para el factor cultivar.....	38
3. Variables relacionadas con biomasa para el factor densidad.....	39
4. Variables relacionadas con biomasa para el factor momento fenológico.....	40
5. Variables relacionadas con el rendimiento para el factor cultivar.....	41
6. Variables relacionadas con el rendimiento para el factor densidad.....	42
7. Número de tallos/m ² promedio para todo el ciclo según cultivar.....	43
8. Número de tallos/m ² promedio para todo el ciclo según densidad.....	43
9. Número de tallos/m ² promedio según período.....	44
10. Número de tallos/m ² según densidad y cultivar.....	44
11. Número de tallos/m ² según nitrógeno y cultivar.	45
12. Número de tallos/m ² según período y cultivar.....	46
13. Número de tallos/m ² según período y densidad para todos los cultivares.....	48
14. Altura (cm) según densidad y cultivar.....	49
15. Altura (cm) según momento fenológico y cultivar.....	50
16. Altura (cm) según dosis de nitrógeno y densidad de siembra.....	51

17. Altura (cm) según momento fenológico y densidad de siembra.....	52
18. Altura (cm) según dosis de nitrógeno y momento fenológico.....	52
19. Índice de área foliar (IAF) según densidad de siembra y cultivar.....	53
20. Índice de área foliar (IAF) según dosis de nitrógeno y cultivar.....	54
21. Índice de área foliar (IAF) según momento fenológico y cultivar.....	55
22. Índice de área foliar (IAF) según momento fenológico y densidad de siembra.....	55
23. Biomasa total (kg/m ²) según nivel de nitrógeno y cultivar.....	56
24. Biomasa total (kg/m ²) según momento fenológico y cultivar.....	57
25. Biomasa en hojas (kg/m ²) promedio para todo el ciclo de los diferentes cultivares con diferentes niveles de nitrógeno.....	58
26. Biomasa en hojas (kg/m ²) según momento fenológico y cultivar.....	58
27. Biomasa en hojas (kg/m ²) según densidad y momento fenológico.....	59
28. Biomasa en hojas (kg/m ²) según dosis de nitrógeno y momento fenológico.....	60
29. Biomasa en vainas (kg/m ²) según cultivar y momento fenológico.....	61
30. Biomasa en tallos (kg/m ²) según momento fenológico y densidad de siembra.....	62
31. Biomasa de panojas (kg/m ²) promedio para los diferentes cultivares según los diferentes niveles de nitrógeno.....	63
32. LAR según momentos fenológicos y cultivar.....	69
33. LAR según momentos fenológicos y densidad.	70
34. LWR según cultivar y momento fenológico.....	71
35. SLA según los diferentes niveles de nitrógeno.....	72

36.SLA según cultivar y momentos fenológicos.	73
37.SLA según dosis de nitrógeno y momentos fenológicos.....	73
38.TCC g/m ² /día promedio para todo el ciclo para los diferentes períodos.....	74
39.TCC g/m ² /día según cultivar y niveles de nitrógeno.....	74
40.TCC g/m ² /día según momentos fenológicos y los niveles de nitrógeno.....	75
41.TCC relativa g/m ² /día para las diferentes densidades.....	75
42.TCC relativa g/m ² /día para los diferentes momentos fenológicos.....	76
43.TCC relativa g/m ² /día según periodo y densidad.....	76
44.TAN g/m ² /día para las diferentes niveles de nitrógeno.....	77
45.Rendimiento Kg/ha según los diferentes niveles de nitrógeno.....	78
46.Rendimiento Kg/ha según densidad y cultivar.....	79
47.Números de panojas/m ² según densidad y cultivar.....	80
48.Números de panojas/m ² según nivel de nitrógeno y cultivar.....	81
49.Números de granos totales/panojas para los diferentes niveles de nitrógeno.....	82
50.Números de granos totales/m ² según densidad y cultivar.....	82
51.Número de granos totales/m ² según nitrógeno y cultivar.....	83
52.Índice de cosecha según cultivar y niveles de nitrógeno.....	84
53.Cluster para macollaje, primordio, 50% floración de las variables IAF, Altura cm, N° de tallos/m ² , MS Total kg/m ² , con k=2.....	85
54.Porcentaje (%) de casos para cada cultivar según tipo de crecimiento.....	87

55. Porcentaje (%) de casos en del grupo A para cada cultivar según densidad.....	88
56. Porcentaje (%) de casos en el grupo B para cada cultivar según densidad.....	89
57. Porcentaje (%) de casos de los grupos A y B para cada cultivar según densidad.....	90
58. Correlaciones entre rendimiento y sus componentes en casos del grupo A	91
59. Correlaciones entre rendimiento y sus componentes en casos del grupo B.....	92

1. INTRODUCCIÓN

La productividad en el cultivo de arroz en Uruguay se ha incrementado en los últimos 15 años. En este período la plena adopción de nuevas tecnologías significó un incremento de 51% en el rendimiento nacional respecto a los 15 años previos (1980/81-1994/95). El rendimiento presenta una tendencia creciente en 1995/96-2009/10. El ajuste de una regresión rendimiento vs. zafra indica que se obtuvo una tasa de incremento en la productividad de 128 Kg. ha⁻¹ año⁻¹ (P=0,0027). La media de rendimiento fue de 6,78 ton/ha; obteniéndose al final del período los niveles mayores de productividad (8 ton/ha). Sin embargo, durante el mismo se ha mantenido sin cambios relevantes la estructura de variedades en el cultivo, dominada por El Paso 144, lanzada en 1986 (Perez et al., 2011).

La introducción de cultivares híbridos en los últimos años en el mercado de cultivares no ha modificado el actual Plateau de rendimiento. Sin embargo, mediante una política comercial y de mercadeo efectiva se ha promovido la adopción de estos genotipos y prácticas de manejo asociadas, las cuales se hacen extensivas a las variedades en cultivo (por ejemplo, uso de bajas densidades y alta fertilización nitrogenada). La información local no sustenta dichas prácticas, indicando la posible existencia de un evento comercial de relevancia (la necesidad de bajas densidades en híbridos debido al alto costo de la semilla) más que biológico.

La extensión del supuesto éxito productivo representado por el “paquete tecnológico de los híbridos”, alcanza al mejoramiento genético sugiriendo que los nuevos ideotipos de arroz deben emular la curva de crecimiento de los genotipos híbridos. Sin embargo, trabajos previos realizados en INIA destacan la alta plasticidad del cultivo permitiendo la expresión de altos rendimientos (10 ton/ha) en cultivares como El Paso 144 e INIA Tacuarí aun con desarrollos foliares disímiles (IAF máximos de 6,5 y 4,5) (Castro y Porto 1994, García y Pintos 1997, Báez y Toledo 1998).

El presente trabajo estudiará la relación entre rendimiento y evolución de la canopia generada bajo diferentes manejos de densidad de siembra y fertilización nitrogenada en cultivares de alto potencial de rendimiento, adaptados a las condiciones del Este del país.

El objetivo de este trabajo es asociar el desarrollo foliar y acumulación de biomasa en el período reproductivo y durante el llenado de granos con la concreción del rendimiento en cultivares de arroz de alto potencial.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF)

Una forma muy usual de expresar el área foliar es mediante el índice de área foliar (IAF) que se refiere a la relación entre la superficie foliar y la superficie del terreno (m^2 a m^2) (Santos et al., 2006). La distribución de la luz en una comunidad vegetal está determinada por el IAF y por el coeficiente de extinción que a su vez es determinado por el ángulo de las hojas (Murata y Matsushima, citados por Santos et al., 2006). De esta forma se explica porque la relación entre el área foliar y la productividad crece a penas hasta el punto que el sombreado mutuo comienza a reducir la tasa fotosintética por unidad de área foliar (Santos et al., 2006).

El IAF varía de acuerdo a la fase de crecimiento, presentando su máximo valor alrededor de floración; la MS total presenta una dinámica similar hasta floración. A partir de ahí el IAF disminuye por la senescencia de las hojas, pero la MS total sigue creciendo hasta completarse el proceso de llenado de grano (Santos et al., 2006). Según Santos et al. (2006) los valores de IAF son mayores en sistemas de arroz regado que de arroz en seco. El IAF es una característica muy variable, se puede alterar mediante la manipulación de época de siembra, densidad de siembra, espaciamiento entre hieras o aplicación de fertilizantes. Por este motivo un objetivo de manejo es attingir un IAF adecuado para obtener una máxima productividad (Santos et al., 2006).

Considerando la fotosíntesis de la canopia, la máxima FN (fotosíntesis neta) se produce durante la iniciación del primordio de la panoja y embarrigado cuando el IAF es el mayor (Tanaka, citado por Benavidez, 2006). El IAF es determinante en este periodo del nivel de FN del canopeo. Las características de las hojas erectas y cortas, impiden la saturación mejorando de esta forma la eficiencia de utilización de la radiación (Benavidez, 2006). Según Benavidez (2006) los cultivares de hojas erectas necesitan un IAF de alrededor de 5 para lograr una alta FN del canopeo. Este valor se reduce a un IAF 3 para variedades de hojas decumbentes. Se define como IAF máximo el que determina una máxima FN de canopeo que no disminuye, aun cuando se superan los valores de IAF máximos (Cock y Yoshida, citados por Benavidez, 2006).

Zhong et al. (2002) realizaron un estudio donde los objetivos eran cuantificar el índice de área foliar crítico (IAFC) en el que se detiene el macollaje, basada en la relación entre la tasa de macollaje y el IAF, y para determinar el efecto del nitrógeno (N) en IAFC de cultivos de Arroz de Riego

(*Oryza sativa* L.) Los resultados mostraron que la tasa de macollaje relativo (TMR) disminuyó exponencialmente a medida que el IAF aumento con un nivel dado de aplicación de N. La relación entre TMR y el IAF se vio afectada por el nivel de aplicación de N pero no por la densidad de siembra. El nivel de aplicación de N tuvo un efecto significativo sobre IAFC, un alto nivel N causó un aumento del IAFC. El macollaje se detuvo en el IAF de 3,36 al 4,11 cuando N no fue limitante. En condiciones limitadas de N, el IAFC se redujo hasta un mínimo de 0,98 en este experimento. El espaciamiento entre surcos y el número de plantas por surco tuvo poco efecto en IAFC. Los resultados de este estudio sugieren que el IAF y el status de N de la planta son dos factores importantes que influyen en la producción de macollos en los cultivos de arroz. La optimización de la producción de macollos mediante el control del macollaje a través del manejo de cultivos en esta etapa es esencial para lograr un alto rendimiento del arroz (Jiang, Su et al., citados por Zhong et al., 2002).

El aumento de índice de área foliar (IAF) incrementa el sombreado y el aumento en la mortalidad de tallos y se asocia con una tasa de reducción del macollaje de los cultivos de arroz (Lei y Wang, Tanaka et al., Yoshida y Hayakawa, Graf et al., citados por Zhong et al., 2002).

En el experimento de Zhong et al. (2002) los tratamientos de mayor densidad de plantación produjeron una mayor área foliar por unidad de área. Con una densidad de plantación determinada, el área foliar aumento con mayor nivel de N. Para un cierto IAF, el mayor nivel de N resultó en una mayor TMR. Cuando N no fue limitante, el IAFC osciló entre 3,36 y 4,11. El IAF probablemente afecta el macollaje por la atenuación de la intensidad de la luz y/o influyendo en la calidad de la luz en la base de la canopia, donde los brotes y los macollos jóvenes se encuentra (Zhong et al., 2002).

En un estudio realizado por Man et al. (2006) usando 15 variedades de arroz indica con un peso de panoja diferente, algunas características de la planta tipo ideal como el tipo de panoja pesada (TPP) del arroz híbrido y su relación con el rendimiento y sus componentes fueron estudiados. Los resultados mostraron que el índice de área foliar (IAF) de las variedades de TPP fue menor que la de tipo medio de panoja (TPM) y que las de panoja tipo liviana (PTL), pero la tasa de disminución del IAF y el IAF eficiente (referido en este trabajo a las tres hojas superiores) después de floración fue más lenta y tenía mucho mayor porcentaje de IAF eficiente, peso específico de las hojas y proporción de grano en relacion al área foliar (cm²) en comparación con las variedades de TPM y TPL. La longitud, anchura, grosor y área de las tres hojas superiores de las variedades de TPP fueron significativamente mayores que las variedades de TPM y TPL, y estos componentes de las tres hojas superiores fueron significativamente y positivamente correlacionados con el número de

espiguillas, peso de granos, granos llenos por panoja y el rendimiento en grano. La hoja bandera en las variedades TPP era erecta con un ángulo agudo de la hoja, y el ángulo de la 2^{da} y 3^{er} hoja de la parte superior aumentó en secuencia.

Estos autores concluyeron que el 60-80% del rendimiento de grano corresponde a la fotosíntesis después de floración, por lo que los cambios de área foliar después de la floración son de suma importancia. Estos resultados mostraron que la alta acumulación de materia seca en el período de crecimiento tardío y alto rendimiento en los cultivares TPP estaba relacionada posiblemente con el IAF eficiente y el peso específico de las hojas, es decir, mejorar la calidad de las hojas y aumentar la eficiencia fotosintética, eran más importantes que aumentar el IAF (Man et al., citados por Man et al., 2006).

En particular, el IAF de híbridos de alto rendimiento se informó ser mayor que el de las líneas parentales (Yamauchi, citado por Lafarge et al., 2009) y la de las líneas de élite (Laza et al., citados por Lafarge et al., 2009) (Peng et al., citados por Lafarge et al., 2009) como una consecuencia del mayor vigor temprano de los híbridos (Peng et al., citados por Lafarge et al., 2009) con hojas más grandes (Ponnuthurai et al., citados por Lafarge et al., 2009) y una mayor área foliar específica (Laza et al., citados por Lafarge et al., 2009) cuando, al mismo tiempo, la tasa de macollaje no se vio afectada (Peng et al., Laza et al., citados por Lafarge et al., 2009) .

2.2 CRECIMIENTO

Para Lambers et al. (2000) el crecimiento de una planta es la consecuencia de: la fotosíntesis, transporte de larga distancia, respiración, relaciones hídricas, y nutrición mineral. El crecimiento de las plantas es el resultado de su carga genética tanto como el ambiente en donde crece. Un factor importante parece ser el patrón de distribución de la biomasa; estos autores se plantean: Estos recursos que la planta adquirió, ¿son invertidos en las hojas, raíces o tallos? ¿Se asigna a la maquinaria involucrada en la adquisición de recursos o para almacenamiento con el fin de que estén disponibles para el crecimiento futuro? El crecimiento de las plantas puede ser analizado en términos de incremento de MS total y su distribución a los órganos (aéreos o subterráneos) involucrados en la adquisición de recursos.

2.2.1 El crecimiento de las plantas enteras

El IAF y la tasa de asimilación neta son los factores más comúnmente tratados como determinantes del rendimiento (Lambers et al., 2000). Una alta área foliar permite que las plantas crezcan rápido (Lambers et al., 2000).

El área foliar es una variable que influye en la tasa de crecimiento relativo (TCR) que es la tasa de incremento de MS sobre la MS del momento anterior (Evans, citado por Lambers et al., 2000). Según Lambers et al. (2000) la TCR está explicada por dos componentes: la tasa de área foliar (TAF) que es la cantidad de área foliar por unidad total de MS de la planta y la tasa de asimilación neta (TAN) la cual es la tasa de incremento en MS por unidad de área foliar. TAF y TAN, cada una puede subdividirse en componentes adicionales. La TAF es el producto del área foliar específica (AFE) la cual es la cantidad de área foliar por cantidad de MS de hojas y la tasa de masa foliar (TMF) la cual es la fracción de MS total de la planta alojada en las hojas. La TAN que es la tasa de la MS ganada por unidad de área foliar, es el resultado de la relación entre el CO₂ ganado en la fotosíntesis por unidad de área foliar y el CO₂ usado en la respiración por las hojas, tallos y raíces. El balance neto de la fotosíntesis y la respiración tiene que ser dividida por la concentración de carbono del material recién formado, [C], para obtener el incremento en MS.

2.2.2 Potencial de rendimiento del arroz y la tasa de crecimiento del cultivo durante el período reproductivo tardío

Takai et al. (2005) condujeron una serie de experimentos de campo en Kyoto, Japón (clima templado) en 1999 y 2000 para determinar los factores relacionados con el potencial de rendimiento en el arroz. Una variedad de arroz "Takanari" mostró el mayor rendimiento de grano entre los genotipos a través de los 2 años, y produjo más de 11 t /ha de rendimiento de grano en el año 2000.

En este experimento la diferencia genotípica en el rendimiento de grano fue más estrechamente relacionada con la tasa de crecimiento del cultivo (TTC) durante el último período reproductivo (14-0 días antes de floración completa). Los genotipos de arroz que tuvieron mayor TTC durante este período produjeron un mayor número de espiguillas por unidad de superficie. La mayor TTC también dio lugar a mayor acumulación de carbohidratos no estructurales (CNE) en los tallos y vainas de las hojas durante el período, lo que se correlacionó positivamente con el desplazamiento rápido de los CNE para la panoja en el período inicial de llenado del grano. Una gran variabilidad genotípica en la TTC durante el período reproductivo tardío se deriva principalmente de la eficiencia de uso de la radiación.

Estos resultados indican que la mejora de la fotosíntesis de la canopia durante el período reproductivo tardío puede ser esencial como primer paso para incrementar el rendimiento en el arroz.

Por otra parte, Evans, citado por Takai et al. (2005) insistió en que no había evidencia de que la mejora del potencial de rendimiento en cualquier tipo de cultivo se ha asociado con una mayor tasa de crecimiento de los cultivos (TCC) preantesis. Sin embargo, los carbohidratos no estructurales (CNE) almacenados en los tallos y vainas de las hojas hasta la floración o antes contribuyen a una parte del rendimiento de grano a través de la translocación a la panoja durante el llenado del grano (Yoshida, Weng et al., Gebbing y Schnyder, Ntanos y Koutroubas, citados por Takai et al., 2005). Recientemente, Horie et al., citados por Takai et al. (2005), indicaron una relación significativa entre la TCC durante el último período de reproducción y rendimiento de grano de arroz, e hizo hincapié en la importancia de una alta TCC durante este período en el rendimiento de grano final sobre la base de la formación de espiguilla y la acumulación de CNE.

En el experimento de Takai et al. (2005) “Takanari” (Cruza Indica-Japonica) mostró el rendimiento más alto. La diferencia genotípica en la TCC durante el período reproductivo tardío fue más estrechamente relacionado con el rendimiento de grano final. Además estos autores mencionan a So (radiación solar incidente), K (coeficiente de extinción) y EUR (eficiencia en el uso de la radiación) como los componentes principales de la TCC. Por el contrario, hubo una diferencia significativa en EUR durante el último período reproductivo entre los genotipos. Acumular CNE en los tallos y vainas de las hojas contribuye a una parte del rendimiento final del grano. “Takanari” mostró una rápida acumulación de CNE entre 2SAF (dos semanas antes de floración) y FC (floración completa), alcanzó la mayor cantidad de CNE, más de 200 g/m^2 en la FC, y luego disminuyó notablemente durante el período de 2 semanas después de FC.

Curiosamente, para estos autores la acumulación de CNE durante el período reproductivo tardío se correlacionó significativamente con la reducción de CNE durante el período de 2 semanas después de FC. El análisis de crecimiento mostró que la diferencia genotípica en TCC durante el período reproductivo tardío se asoció fundamentalmente con el rendimiento de grano final.

En el estudio de Takai et al. (2005) “Takanari”, “Milyang 23”, y “Shanguichao” (cultivares de mayor rendimiento en el experimento) tuvieron una mayor TCC durante el período, produciendo un gran número de espiguillas por unidad de área, “Takanari” y “Banten” tuvieron un menor TCC en el mismo

período produciendo un pequeño número de espiguillas. Resultados similares fueron reportados también en trigo (Shearman et al., citados por Takai et al., 2005).

Por lo tanto, el logro de una fosa de tamaño grande a través de la alta producción de biomasa durante el período puede ser un requisito previo para rendimientos de granos superiores (Takai et al., 2005). Además de la elaboración de una fosa grande, una gran cantidad de CNE se acumuló en los tallos y las vainas durante el último período de reproducción en “Takanari” y “Milyang 23”, y se redujo notablemente después de FC. La reducción de los CNE durante el período de 2 semanas después de la FC se correlacionó significativamente con la acumulación de CNE durante el último período reproductivo. Estos resultados implican que los CNE reservados durante el período reproductivo tardío pueden haber existido en el estado movilizable y podría contribuir más a la producción de grano final (Takai et al., 2005).

La mayor acumulación de CNE durante el período reproductivo tardío puede haber contribuido al número de granos llenos y por lo tanto al rendimiento de grano final a través de su translocación a las panojas. Como se mencionó anteriormente, se sugirió que una mayor TCC durante el período reproductivo tardío puede ser requisito previo para alcanzar un rendimiento de grano superior (Takai et al., 2005).

Según Takai et al. (2005) la TCC se compone de EUR, So, K, y el IAF. Entre estos elementos, una diferencia significativa fue observada claramente en EUR durante el período reproductivo tardío. “Takanari” y “Milyang 23” que tuvieron una mayor TCC durante este período contaban con más de 2.0 g /MJ de EUR lo que fue significativamente mayor que en otros genotipos. Estos resultados sugieren que la diferencia genotípica en TCC puede ser principalmente derivada de la EUR. En estudios anteriores en Kyoto, observando la EUR en la variedad de tipo japónica “Koshihikari” fue inferior a 1,5 g /MJ (Horie et al., citados por Takai et al., 2005). Más de 2,0 g MJ⁻¹, durante el período reproductivo tardío sugiere la mayor productividad intrínseca en “Takanari” y “Milyang 23”. En teoría, la EUR puede ser explicada en función de la fotosíntesis de la canopia (Sinclair y Horie, Reynolds et al., citados por Takai et al., 2005).

Tsukaguchi et al., citados por Takai et al. (2005) revela estrecha relación entre el porcentaje de llenado de grano y los hidratos de carbono disponibles durante los primeros 10 días después de FC (CNE + asimilados almacenados en el período de 10 días después de FC).

El estudio realizado por Takai et al. (2005) indica que una mayor producción de biomasa durante el período reproductivo tardío es fundamental para lograr un rendimiento de grano superior. Dado que la diferencia genotípica en la TCC durante el período se deriva principalmente de la EUR por lo que puede ser esencial aumentar la canopia fotosintética durante el último período reproductivo como un primer paso para incrementar el rendimiento en el arroz.

La tasa de crecimiento del cultivo (TCC) durante cada fase fenológica: el crecimiento de la hoja durante la fase vegetativa, la tasa de crecimiento del tallo durante la fase reproductiva y la tasa de crecimiento de la panoja durante la fase de maduración, fueron consistentemente más altas para los híbridos que en líneas puras (Bueno et al., 2009).

2.3 BIOMASA

Según Zhang et al. (2004) los mejoradores de plantas a menudo utilizan la biomasa (BM) y el índice de cosecha (IC) para explicar el aumento en rendimiento de grano (RG) de los cultivos de cereales y RG puede ser expresado como el producto de BM y IC. En un estudio, llevado a cabo por los autores antes mencionados los rasgos asociados con esta relación de multiplicación fueron investigados en un ensayo de campo de multi-replicación con una población de haploides duplicados de arroz y un análisis de QTL (del inglés Quantitative trait loci) fue realizado usando el QTLMapper1.0. Tres QTLs para rendimiento de grano, con valores de R^2 que van desde 17 hasta 23% fueron resueltos. Tanto para la biomasa como para el índice de cosecha, cuatro QTLs con valores de R^2 que van desde 13-28% y 23.7%, respectivamente, fueron detectados. Entre los tres QTLs de RG, dos se encontraron co-ubicado con dos de los cuatro QTLs BM en los cromosomas 1 y 3, respectivamente, y el restante ubicado conMantamente con uno de los cuatro QTLs de IC en el cromosoma 1, lo que sugiere que el aumento en el rendimiento de grano podría ser explicado genéticamente por la mejora de la biomasa o mejora del índice de cosecha.

En cada una de las regiones cromosómicas, los QTLs co-ubicados producen efectos aditivos en la misma dirección, lo que está en buen acuerdo con la correlación positiva entre los rasgos. Además, no se encontró que ninguno de los QTLs BM se solape con cualquiera de los QTLs de HI, lo que sugiere que en un genotipo se podría obtener un aumento en la biomasa y el índice de cosecha a través de piramidación de los alelos positivos para estas dos características. Tanto el análisis de correlación y la detección de QTL reveló que el número de espiguillas por panoja (NEP) se asoció estrechamente con el rendimiento de grano, la biomasa y el índice de cosecha, pero era

relativamente más estrechamente relacionada con la biomasa que el índice de cosecha.

Según Zhang et al. (2004) en el siglo 20, los dramáticos aumentos en el rendimiento del cultivo se han atribuido principalmente a la mejora en la biomasa y / o el índice de cosecha en función de las especies particulares. En el caso del trigo y la cebada, por ejemplo, el aumento progresivo en el potencial de rendimiento de grano entre 1900 y 1980 se dio casi enteramente por el aumento en el índice de cosecha de 0,36 a 0,48 través de la reducción en la altura de la planta mediante la incorporación de los llamados genes de "enanismo". En marcado contraste, el aumento del potencial de rendimiento en los híbridos de maíz no ha implicado una reducción marcada en la altura de la planta o el aumento en el índice de cosecha. Principalmente provienen del aumento de la producción de biomasa, como el resultado de cambiar el diseño de la planta y el aumento de la densidad del cultivo. En el caso del arroz, las mejoras tanto en el índice de cosecha y la biomasa, han contribuido al aumento del potencial de rendimiento. Desde 1960, la incorporación de un gen recesivo, SD-1, por la baja estatura de una variedad de China, "Dee-geo-woo-gen", se tradujo en el desarrollo y lanzamiento de un número de variedades de arroz de alto rendimiento con un aumento en el índice de cosecha de alrededor de 0,3-0,5, lo que constituye el primer avance importante en la historia de mejoramiento del arroz.

Fukushima et al. (2011) realizaron un experimento de campo de dos años, el cual se llevó a cabo con la variedad tipo japónica de alto rendimiento "Fukuhibiki", variedad indica de alto rendimiento "Takanari", y una variedad tipo de grano largo de alto rendimiento "Bekoaoba" y variedades convencionales tipo japónica "Akitakomachi" y "Hitomebore" en la región de Tohoku (área más fría de Japón).

El bajo posicionamiento vertical de panojas en la canopia es eficaz para aumentar la producción de materia seca durante el período de maduración (Saitoh et al., citados por Fukushima et al., 2011). De hecho, la mayoría de las variedades de arroz de alto rendimiento mejoradas recientemente presentan la panoja en una posición vertical baja (Peng et al., Takita, citados por Fukushima et al., 2011).

Las tres variedades de alto rendimiento produjeron un arroz sin descascarar pesado a 30 días después de floración (DDF) y tenían un alto índice de cosecha en común, aunque el incremento en materia seca durante el periodo de llenado (ΔW) y el peso en seco total a madurez (PSTm) no era mayor en las tres variedades de alto rendimiento que en las dos variedades convencionales. Estos resultados implican que la removilización de asimilados

en el tallo y la vaina de la hoja durante el período de maduración temprana era importante para obtener un alto rendimiento. “Bekoaoba” tenía un alto contenido de carbohidratos no estructurales (CNE) y un gran descenso en el peso de hojas y tallos ΔS_{H-30} . Sin embargo, “Fukuhibiki” y “Takanari” no tienen una gran ΔS_{H-30} . Estos resultados sugieren que la alta tasa de removilización contribuyó al alto rendimiento de “Bekoaoba”.

Duy et al. (2004) realizaron una serie de experimentos que se llevaron a cabo en 1999, 2000 y 2001 en el campo de la Universidad de Iwate, Japón, para examinar el efecto de la no aplicación de nitrógeno acompañado de escasa densidad de siembra (EDS) en la producción de materia seca (PMS) de 12 cultivares de arroz o líneas pertenecientes a los genotipos de maduración precoz, media y tardía.

La PMS por panoja durante el período comprendido entre la iniciación de primordio (IP) y floración completa (FC) estuvo positiva y significativamente correlacionado con el número de espiguillas por panoja. El porcentaje de granos maduros (PGM) también estaba estrechamente relacionado con la disminución de hidratos de carbono de los tallos ($-\Delta S$) y la fotosíntesis después de la FC provocó un incremento en el peso total (ΔW) y contribuyó a la espiguilla durante el período de maduración temprana (durante 20 días después de FC).

Según Duy et al. (2004) el rendimiento en arroz es el resultado de la producción de materia seca (acumulación y translocación) antes y después de floración. El tamaño potencial del rendimiento (el producto del número de espiguillas por unidad área y el tamaño de grano) es determinado principalmente previo floración. El rendimiento en grano final, o el peso de los granos llenos, es determinado principalmente por la cantidad de carbohidratos almacenados en las plantas antes de floración (Yoshida, Weng et al., citados por Duy et al., 2004). El proceso de producción de materia seca varía con el genotipo, condiciones ambientales y prácticas de cultivo. Así entendiendo las diferencias en producción de MS entre cultivares, condiciones ambientales y prácticas de cultivo es un paso esencial en el desarrollo de cultivares de alto y estable rendimiento o prácticas de manejo. La producción de materia seca (PMS) de las plantas de arroz es afectada por el IAF y las condiciones ambientales, especialmente la radiación solar (Yoshida, citado por Duy et al., 2004).

El IAF óptimo para la tasa de crecimiento del cultivo en el período previo a floración es mayor que en el período de llenado (Murata, Kumura, citados por Duy et al., 2004). La estructura de la canopia y la actividad fotosintética de una hoja sola es también de los principales factores que afecta TCC (Kurda y Kumura, Kumura, citados por Duy et al., 2004). El peso específico de la hoja

(PEH) es un factor importante en la determinación de la capacidad fotosintética (Tanaka y Matsushima, Bhagsari y Brown, citados por Duy et al., 2004). En el estado de panoja joven, la competencia por fotoasimilados entre las panojas jóvenes y otras partes particularmente tallos y vainas es menos severa en los cultivares de porte bajo que en los de porte alto (Fujita y Yoshida, citados por Duy et al., 2004). Por otro lado Kuroda et al., citados por Duy et al. (2004), mostró que cultivares con una mayor altura de planta presentan una mayor capacidad fotosintética que cultivares de menor altura. El porcentaje de granos llenos (PGL) es afectado principalmente por la cantidad de carbohidratos disponibles para el llenado de granos (Weng et al., Kobata et al., citados por Duy et al., 2004) y por el número de espiguillas por unidad de área (Wada, Kuroda et al., Pham et al., citados por Duy et al., 2004).

Tsukaguchi et al., citados por Duy et al. (2004) demostraron que los carbohidratos disponibles por espiguilla durante los diez días previos a 100% de floración, estuvo correlacionado positivamente con el porcentaje de llenado.

La contribución de los carbohidratos almacenados en los tallos previo a floración para los carbohidratos de los granos varía de 0-40% en la mayoría de las condiciones (Yoshida, citado por Duy et al., 2004). Nagata et al., citados por Duy et al. (2004), estudiando los efectos de los carbohidratos almacenados (carbohidratos no estructurales) y la MS producida después de floración sobre el llenado de granos, reportó que entre esos dos factores, el último tuvo un efecto mayor sobre el % de granos llenos que el primero. Según Duy et al. (2004) el gran efecto de la MS producida después de floración sobre PGL y su gran contribución al rendimiento en grano, en comparación a lo de los carbohidratos de los tallos, sugiere que en cultivo de arroz es necesario mantener una alta producción de MS durante el periodo de llenado para lograr un alto % de granos llenos y por lo tanto un alto rendimiento de grano.

La alta acumulación de biomasa durante el llenado de grano Yamauchi, Peng et al., citados por Bueno et al. (2009) se identifica como el factor de mantenimiento de mayor rendimiento de grano de arroz híbrido sobre las líneas puras. La biomasa foliar más alta en la madurez fue reportado como el principal factor de apoyo al mayor rendimiento de grano del arroz híbrido sobre las líneas puras particularmente en la estación seca (Peng et al., citados por Bueno et al., 2009).

2.4 INDICE DE COSECHA

2.4.1 Generalidades

Según Donald y Hamblin (1976) el rendimiento biológico de un cultivo de cereales es el rendimiento total del material vegetal, y el índice de cosecha es la relación entre el rendimiento de grano con el rendimiento biológico. La expresión de la "eficiencia" de la producción de grano a través de un índice se propuso hace 60 años por Beaven, citado por Donald y Hamblin (1976) un mejorador de cebada de Warminster, Wiltshire, Inglaterra. Se define el "coeficiente de migración" de los cereales como "la proporción de materia seca de la planta entera y madura, con exclusión de la raíz, que se acumula en el grano" (Beaven, citado por Donald y Hamblin, 1976). El término "coeficiente de migración" se eligió porque, carente de nuestro conocimiento actual de la fotosíntesis post floración, Beaven, citado por Donald y Hamblin (1976) creyó "que el rendimiento de grano seco, a diferencia del peso total de la planta entera, depende de la transmisión efectiva del material acumulado en el tallos de la planta".

Para Donald y Hamblin (1976) el rendimiento biológico verdadero incluye el peso de las raíces, pero puesto que éstos son normalmente no recuperables, el término se aplica generalmente con el peso total de biomasa sobre la superficie del suelo. El índice de cosecha, por definición, es un factor menor que la unidad, como de 0 a 0,55, pero algunos mejoradores prefieren usar "índice de cosecha (%)", en el que expresan que el índice de 0 a 55%. La determinación del índice de cosecha, se basa generalmente en una cosecha en la madurez. Las plantas maduras se cortan a ras del suelo, se pesan para dar el rendimiento total, y se trillan para dar el rendimiento de grano. Algunas imprecisiones también pueden resultar de la determinación del índice de cosecha en la madurez. Debido a la pérdida de hojas y la respiración, el rendimiento biológico aparente del cultivo puede ser menor en la madurez que en una fase algo anterior.

Según Donald y Hamblin (1976) el rendimiento de grano es proporcional al índice de cosecha y su correlación es de 1,00. Por otro lado, rendimiento biológico y el índice de cosecha no están relacionados.

En una serie de ensayos en Nueva Gales del Sur, se realizó una comparación de seis trigos australianos y la variedad alemana, Opal, todos de estatura normal y dos trigos mexicanos semi-enanos (Syme, citado por Donald y Hamblin, 1976).

El rendimiento biológico de las nueve variedades mostró el pequeño rango de 11.040 a 12.540 kg / ha, mientras que los rendimientos de grano fueron desde 2920 hasta 4890 kg / ha.

Los índices de cosecha variaron desde 0,243 hasta 0,390, la correlación entre el rendimiento de grano e índice de cosecha fue de 0,96, mientras que entre el rendimiento biológico y el índice de cosecha fue de 0,08.

La situación contraria es aquella en la que los rendimientos de grano presentan dependencia con la producción biológica, por lo que el rendimiento de grano es estrictamente proporcional a la producción biológica. Por lo tanto el rendimiento de grano tiene una correlación de 1,00 con el rendimiento biológico.

La mayor parte de los avances en el desarrollo de cultivares de alto rendimiento parece estar relacionada con índices de cosecha más altos con pequeños cambios de rendimiento biológico. Relaciones encontradas en las que Ygr (rendimiento en grano) y Yveg (rendimiento vegetativo) mostraron correlaciones fenotípicas de -0,46 hasta 0,35. Con un incremento en la producción biológica, los rendimientos de los cereales podría aumentar más que proporcionalmente, menos que proporcionalmente, o puede disminuir. Sin embargo, puede haber complejidades debido a la no linealidad y la interacción con las estaciones, tanto como ha sido demostrado para el rendimiento de grano por Finlay y Wilkinson, citados por Donald y Hamblin (1976) en diversas situaciones agronómicas puede ser (y ha demostrado ser) una fuerte relación inversa entre el rendimiento de grano e índice de cosecha.

Estos autores señalan el patrón variable de correlación entre el índice de cosecha y sus componentes y hacen hincapié en la necesidad de cautela en el uso de las correlaciones de este tipo en los estudios agronómicos.

En cuanto a los factores que parecen a priori contribuir a un alto índice de cosecha en un cultivo de cereales. Estos pueden ser listados en dos categorías: los que componen el rendimiento de grano y debe tener una expresión relativamente alta, y los que componen las partes no-grano y debe tener una expresión relativamente baja. Los factores del primer grupo son "los componentes del rendimiento" Engledow, citado por Donald y Hamblin (1976) refiriéndose al rendimiento de grano. Los que están en el segundo grupo por lo general han sido considerados sólo de manera indirecta en relación con la producción de granos, como cuando por el enanismo se pretende evitar el acame. En cuanto al trigo, estos factores son los siguientes, alta expresión: peso de granos, número de granos por espiga, número de espigas por m² y los de baja expresión: peso por hoja, hojas por tallo, peso por tallo, restos secos.

Existe un conflicto aparente en la contribución de algunas características en el valor del índice de cosecha. Esto indica que el índice de cosecha, para que tenga sentido, debe ser relativamente insensible a la densidad de plantas o el tamaño de la planta, y estar relacionados con el rendimiento por tallo en lugar de rendimiento por planta.

Por ejemplo, con una variación de la densidad de un cultivo de trigo, el rendimiento de grano se redujo de 33g / planta en 1,4 plantas/m² a 0,4 g / planta en 447plantas/m², en cambio, el índice de cosecha se redujo sólo 0,36 a 0,25 (Puckridge y Donald, citados por Donald y Hamblin, 1976). Esto representó un cambio en el índice de cosecha de aproximadamente 0,01 por cada duplicación de la densidad. De ello se deduce que un alto índice de cosecha en un cultivo se logrará con muchas espigas, cada uno con un alto rendimiento de grano, con relación a pocos tallos, cortos, livianos y pocas hojas por tallo. Donald y Hamblin (1976) hicieron hincapié en el punto de que todos estos valores son altos o bajos sólo en un sentido relativo. Así espigas de tamaño absoluto pequeño será relativamente grande si cada uno de ellos está asociado con una pequeña cantidad de tejido vegetal. Se verá que un alto índice de cosecha para una comunidad de plantas no per se indican un alto rendimiento de grano por unidad de área. Los rendimientos de grano dependen no sólo en el índice de cosecha, sino igualmente en el rendimiento biológico por unidad de área.

Un análisis realizado por Singh y Stoskopf, citados por Donald y Hamblin (1976) muestra la contribución de los diversos órganos vegetativos a la producción biológica de los tres cereales. Los tallos hicieron una contribución media de 32% a la producción biológica o 56% a las partes vegetativas. De ello se deduce que la variación del peso de los tallos es probable que tenga una mayor influencia sobre el índice de cosecha que cualquier otro componente que el grano.

Una comparación por Singh y Stoskopf, citados por Donald y Hamblin (1976) de cultivares de trigo de tamaño de planta alto (86 cm), mediano (78 cm), y el enano (58 cm) mostraron índices de cosecha de 0,38, 0,40 y 0,42, respectivamente. (En este caso, los mayores rendimientos de grano se obtuvieron por los cultivares altos, pero puede calcularse que los cultivares enanos tenían rendimiento biológico 15% menor a una densidad de siembra común).

Según Hamblin, citado por Donald y Hamblin (1976) el índice de cosecha se correlaciona negativamente con los componentes vegetales individuales, en particular con el peso de los tallos. Donald y Hamblin (1976) de datos para la cebada muestran asimismo una correlación negativa entre índice

de cosecha, altura de la planta y la longitud de la hoja, junto con una relación positiva con el rendimiento de grano y sus componentes.

Jennings y de Jesús, citados por Donald y Hamblin (1976) mostraron una relación inversa significativa entre el rendimiento de grano de cultivares de arroz en monocultivo y su capacidad competitiva con las mezclas. La gran capacidad competitiva de los arroces tropicales, se asoció con su estatura y la longitud de las hojas, a diferencia del habito corto, compacto, erecto de los cultivares modernos.

El índice de cosecha se ha divulgado como el componente principal al mantenimiento de un mayor rendimiento de los híbridos, cuando la biomasa en la madurez fue no significativamente mayor que la de las líneas puras (Yang et al., 2007).

2.4.2 Influencia de factores ambientales

Según Donald y Hamblin (1976) al igual que el rendimiento, el índice de cosecha de los cultivos de cereales es sensible a las influencias ambientales. Los tres componentes principales del medio ambiente de la planta o de la comunidad que influyen en el rendimiento e índice de cosecha, son la densidad de población, disponibilidad de agua y suministro de nitrógeno.

2.4.2.1 Densidad de población

Según Donald y Hamblin (1976) los rendimientos biológicos aumentan con la densidad hasta un valor máximo determinado por algún factor del medio ambiente y en densidades más altas tiende a permanecer constante, siempre que no existan factores de interferencia como el vuelco. El rendimiento de grano se incrementa a un valor máximo, pero disminuye a medida que la densidad se incrementa aún más. Se ha observado, Donald, Kirby, citados por Donald y Hamblin (1976) que el rendimiento techo biológico y el máximo rendimiento de grano se consigue generalmente a aproximadamente la misma densidad. El IC se redujo antes de que el rendimiento de grano alcance el valor máximo, por lo general desde el valor más bajo de densidad examinado. En un experimento realizado por Morrow y Hunt, citados por Donald y Hamblin (1976) hubo un aumento en el índice de cosecha hasta la densidad que dio el mayor rendimiento de grano.

Según Donald y Hamblin (1976) un factor que probablemente siempre está involucrado en la caída en el índice de cosecha en altas densidades, es el perfil de la luz dentro del cultivo en las altas densidades la intercepción total de luz se produce antes y la competencia entre las plantas por luz es más intensa. El porcentaje de tallos productores de espigas, el número de granos por espiga, y el tamaño de grano son todos reducidos, incluso donde el agua y los nutrientes no son limitativos. Todos los estudios son consistentes en demostrar un declive en el IC a medida que aumenta la densidad por encima del máximo rendimiento en grano. La influencia de la luz sobre el índice de cosecha también se ha registrado en la producción de arroz en las Filipinas. Chandler, citado por Donald y Hamblin (1976) señaló que el índice de cosecha de la variedad "Peta" puede ser tan baja como 0,22 durante el monzón nublado y tan alto como 0,47 en la temporada de sol.

2.4.2.2 Disponibilidad de agua

Según Donald y Hamblin (1976) estudios realizados en muchas especies indican claramente que los cultivos de cereales bajo stress hídrico no solo presentan bajo rendimiento biológico y de grano sino también bajo índice de cosecha. El estudio de Poostchi et al., citados por Donald y Hamblin (1976) de riego suplementario en primavera de trigo bajo condiciones semi-áridas en el sur de Irán, mostró un patrón de respuesta característico, que fue notablemente consistente para cada uno de los tres años del experimento. A medida que el suministro de agua se incrementa, la producción biológica aumentó de 9,5 a 15,8 toneladas, el rendimiento de grano de 1,6 a 3,6 toneladas, el índice de cosecha de 0,172 a 0,229.

Cuando una variedad de arroz de secano y una de inundación se cultivaron en macetas Enyi, citado por Donald y Hamblin (1976) que tenían un índice de cosecha similar a saturación del suelo del 100%, el arroz de secano mantiene un valor mucho mejor que el arroz de inundación en un 80% ó 60 % de saturación. Por el contrario, aunque los dos arroces tuvieron similares rendimientos biológicos cuando se inundó, el arroz de inundación tenía un alto índice de cosecha y rendimiento de grano.

En un estudio realizado por Bond et al., citados por Donald y Hamblin (1976) cuatro niveles de reservas de agua se establecieron en la siembra, los resultados de los niveles extremos son, 71 y 180 mm de agua almacenada en superficie a la siembra. Una densidad de siembra alta o surcos estrechos condujo a mayores rendimientos biológicos, pero cuando el agua era en cantidades limitadas, el mayor crecimiento deprimió el índice de cosecha. Con el agua limitada, todos los rendimientos de grano tienden a valores bajos, pero

la baja población, sin embargo dio 12% más de trigo que la alta población y las filas anchas 18% más que los surcos estrechos.

Aspinall et al., citados por Donald y Hamblin (1976) han hecho hincapié en que "el órgano que crece más rápidamente en el momento de estrés es el más afectado." Esta relación puede conducir realmente a un mayor índice de cosecha bajo estrés hídrico debido a la fuerte reducción del crecimiento vegetativo. Un estrés temprano reduce la altura y el peso de planta e impide cualquier macollaje. En contraste, las plantas del control produjeron macollos adicionales, muchos de ellos estériles. Como consecuencia las plantas con estrés temprano tenían un rendimiento de grano igual a la de los controles, con un índice de cosecha superior. En las plantas que sufrieron un estrés en etapas finales, los tallos estériles representaron el 46% de la producción biológica, y el índice de cosecha y rendimiento de grano fueron muy bajos. Así, mientras que el rendimiento biológico, el rendimiento de grano y el índice de cosecha por lo general muestran una respuesta positiva al abastecimiento de agua, hay circunstancias en las que menor disponibilidad de agua pueda reducir la altura y los macollos y que se llegue a un mayor índice de cosecha.

2.4.2.3 Nutrición nitrogenada

Según Donald y Hamblin (1976) la aplicación de nitrógeno a los cereales comúnmente da un aumento en el rendimiento biológico combinado con una disminución en el índice de cosecha. Vogel et al., citados por Donald y Hamblin (1976) entre los cultivares de trigo eficientes semi-enanos y las variedades comerciales de altura estándar en el este de Washington ha demostrado diferencias notables en las relaciones de producción biológica y de grano. El índice de cosecha de los cultivares semienanos fue alto, no sólo en la fertilidad moderada, sino también en la alta fertilidad. Por el contrario, las variedades estándar, aunque mostrando una fuerte respuesta a la fertilidad mejorando sus rendimientos biológicos, disminuyó en el índice de cosecha. Relaciones similares se producen entre los genotipos de arroz Langfiel, citado por Donald y Hamblin (1976) donde las diferencias marcadas en la respuesta de los rendimientos biológicos a nitrógeno fueron acompañados por los movimientos inversos en el índice de cosecha. Así, en los estudios, tanto por Vogel et al., Langfield, citados por Donald y Hamblin (1976) hubo una interacción importante entre la fertilidad, el genotipo y el índice de cosecha.

2.4.3 La interacción de los factores ambientales, rendimiento e índice de cosecha

Para Donald y Hamblin (1976) alta densidad de población, surcos estrechos, y alto nitrógeno todo lleva a un aumento en la producción biológica, y este incremento es relativamente mayor si todas las demás condiciones, incluyendo la disponibilidad de agua, son favorables. Estos incrementos en los rendimientos biológicos se verá reflejado en los rendimientos de grano a menos que algún otro factor presente una oferta deficiente, donde el índice de cosecha se verá reducido. Esta depresión puede ser muy grave si hay un suministro limitado de agua, pero con alto nitrógeno una caída se produce incluso cuando el agua es adecuada.

La depresión en el índice de cosecha, debido al nitrógeno o una alta densidad de población en un ambiente bien regado es, probablemente, un efecto del mayor crecimiento vegetativo sobre las relaciones de luz dentro de la canopia. Esto afecta negativamente a la iniciación de la panoja, desarrollo de grano, y el índice de cosecha.

2.4.4 Rendimiento biológico e índice de cosecha como criterio en el mejoramiento de cereales

El índice de cosecha de cultivos de cereales ha tendido a aumentar progresivamente, con poco incremento en rendimiento biológico. En Victoria, Australia, el aumento de los rendimientos de las variedades más recientes de avena se ha asociado casi exclusivamente con un mayor índice de cosecha, sin diferencias en el rendimiento biológico, sino que pasó de 0,33 en la variedad vieja, de Argelia, para 0,41 en los cultivares de 1963 (Sims, citado por Donald y Hamblin, 1976) En una comparación de cultivares de trigo mostraron tendencias similares, Sims, citado por Donald y Hamblin (1976) considera que los factores de estos índices de cosecha mejorados son el tallo más corto; maduración precoz, lo que permite un mejor llenado del grano por evitar la sequía; macollaje reducido y una mejor supervivencia de macollos, y, en la avena, grandes panojas.

Se realizó una comparación en el International Rice Research Institute entre las variedades tradicionales de arroz tropicales y los cultivares modernos criados en Taiwán y en el Instituto (Chandler, citado por Donald y Hamblin, 1976). Las 6 variedades antiguas eran altas, tenían las hojas largas, y respondieron negativamente al nitrógeno por vuelco y sombreado interior, tenían un índice de cosecha medio de 0,36. Las nuevas variedades erectas, y enanas, de hojas cortas y la gran capacidad de respuesta al nitrógeno, tenían un índice de cosecha de 0,53. Chandler, citado por Donald y Hamblin (1976)

considera que la supervivencia pobre de macollos, debido al intenso sombreado mutuo, y el cese del crecimiento después de la floración a contribuido a la baja del índice de cosecha de las variedades de hoja larga. Por último, las comparaciones están disponibles en el Reino Unido que muestran la menor altura y mayor índice de cosecha de cultivares de cebada.

La reducción en la altura, de manera evidente en cultivares más recientes, parece conducir a un aumento de índice de cosecha no sólo a través de una reducción en el peso de las partes vegetativas, sino también a través de una contribución directa a la producción de granos. Tallos más cortos y más ligeros utilizan menos carbohidratos y esta reducción de la competencia puede permitir un mayor crecimiento del número de granos y de la panoja (Bingham, Fischer, citados por Donald y Hamblin, 1976). Según Donald y Hamblin (1976) estos ejemplos demuestran que el progreso en el mejoramiento de cultivares de mayor rendimiento se ha asociado con el aumento de los valores de índice de cosecha, se volvió a señalar que ningún mejorador de plantas ha buscado deliberadamente este aumento. Por el contrario, el aumento ha sido un efecto secundario debido al esfuerzo extra por aumentar el rendimiento en grano, tallos cortos, y ciclos precoces. Aquí está el punto en cuestión. Si el mejoramiento para incrementar el rendimiento de grano de cultivo conduce a un índice de cosecha más alto, ¿es el corolario que el mejoramiento de un alto índice de cosecha es un enfoque útil para el rendimiento de grano superior? En primer lugar, tener en cuenta los pocos datos sobre la heredabilidad del índice de cosecha. El estudio más amplio Rosielle y Frey, citados por Donald y Hamblin (1976) basado en el rendimiento de avena, mostraron valores similares para los porcentajes de heredabilidad de los componentes de varianza-de rendimiento biológico (59%), índice de cosecha (64%) y rendimiento de grano (61%).

Singh y Stoskopf, citados por Donald y Hamblin (1976) cultivaron 28 selecciones de trigo de invierno en tres temporadas, encontraron que algunos dieron un índice de cosecha constantemente altos o bajos (por ejemplo, 0,46, 0,43 y 0,46, o 0,28, 0,35 y 0,32 más de 3 años), pero sin embargo, hubo una interacción entre las selecciones y las estaciones". Fischer, citado por Donald y Hamblin (1976) registro una correlación de los índices de cosecha entre los genotipos de una generación a otra de 0,75. La situación parece ser que el índice de cosecha de cereales, como el rendimiento de grano, es heredable en un grado considerable. Y ya que involucra no sólo a los componentes del rendimiento de grano, sino también innumerables componentes de rendimiento biológico, está necesariamente bajo control poligénico. Más específicamente, parece que hay oportunidad de combinar un alto rendimiento biológico con un alto índice de cosecha.

Por ejemplo, McEwan, citado por Donald y Hamblin (1976) ha propuesto que el alto índice de cosecha de dos cultivares semi-enanos mexicanos se combinó con el alto rendimiento biológico de las actuales nuevas variedades de Nueva Zelanda. Las pruebas preliminares de rendimiento de las poblaciones de híbridos han demostrado ser prometedoras.

2.5 RENDIMIENTO

2.5.1 Aspectos generales

Se define rendimiento la cantidad de sustancia específica producida (por ejemplo, grano, paja, el total de materia seca) por unidad de área (Soil Science Society of America, citado por Fageria, 2007). En el presente caso, es el rendimiento de grano; se refiere al peso de los granos limpios y secos cosechados a partir de una unidad área. En cuanto al arroz, el rendimiento de grano generalmente se expresa en kilogramos por hectárea (kg ha^{-1}) o en toneladas métricas por hectárea (Mg ha^{-1}) a los 13 o 14% de humedad (Fageria, 2007). A su vez puede ser expresado por la siguiente fórmula:

$$\text{panojas/m}^2 \times \text{granos/panoja} \times \text{peso de grano} \times \text{porcentaje de grano lleno} \times 10^{-5}$$

El rendimiento potencial es una estimación del límite superior de aumento en el rendimiento que puede obtenerse a partir de una planta de cultivo (Fageria, citado por Fageria, 2007). Según Evans y Fischer, citados por Fageria (2007) definen rendimiento potencial como el rendimiento máximo, lo que podría ser alcanzado por un cultivo o genotipo en determinados ambientes, como se determina por ejemplo, por simulación de modelos con supuestos plausibles fisiológicos y agronómicos. Estos autores informaron que el rendimiento potencial a largo plazo se utiliza como sinónimo de potencial de rendimiento. Evans y Fischer, citados por Fageria (2007) definen potencial de rendimiento como el rendimiento de un cultivo cuando se cultiva en ambientes a los que está adaptado, con nutrientes y el agua no limitante y con plagas, enfermedades, malezas y otros factores de estrés efectivamente controlados.

Los rendimientos de grano antes de la primera revolución verde fueron alrededor de 3 Mg ha^{-1} , con requerimiento para el arroz de 60 kg N ha^{-1} . Durante la primer revolución verde la producción de cereales alcanzó el 8 Mg ha^{-1} , con requerimiento para el arroz de 160 kg N ha^{-1} (Fageria, 2007). La revolución verde se asocia principalmente con el desarrollo de cultivares con baja estatura (90-110 cm), que eran menos susceptibles al vuelco, cuando son fertilizados en gran medida especialmente con nitrógeno (Yoshida, 1981).

Uno de los argumentos fisiológicos para justificar la reducción de la estatura es que las plantas altas presentan mayor proporción de tejidos no fotosintéticos (vainas, tallos), lo que lleva a que presenten mayores pérdidas de carbono fotosintético por respiración que las plantas bajas (Benavidez et al., 2006).

En 1966, IR8 fue la primera variedad de arroz moderno, semi-enana de alto rendimiento, que fue liberada para las tierras tropicales bajo riego (Khush et al., citados por Peng et al., 2008).

El lanzamiento de IR8 aumento el potencial del rendimiento del arroz de los cultivos de riego de 6 a 10 t ha⁻¹ en los trópicos (Chandler, citado por Peng et al., 2008). El aumento de la producción de esta variedad semi-enana no pudo ser viabilizado sin el aumento en la dosis de nitrógeno; ya que cultivares de alto rendimiento remueven mucho mas nitrógeno del que está disponible bajo vía de mineralización y que las dosis recomendadas en el pasado (Santos et al., 2006).

El segundo salto en el potencial de rendimiento fue provocado por el desarrollo de arroz híbrido en 1976 en China (Yuan et al., citados por Peng et al., 2008). Según Virmani et al., citados por Bueno et al. (2009) el rendimiento del arroz híbrido es mayor que líneas puras entre 10-30%. Esto coincide con lo mencionado por Yang et al. (2007), donde menciona que el arroz híbrido tiene una ventaja de rendimiento de alrededor del 15% con respecto a las mejores líneas puras. Cao et al., Kibaki, citados por Yang et al. (2007) informaron que los híbridos tienen más eficiencia en formación de fosa en relación con la tasa de acumulación de materia seca en la fase de floración de líneas puras. Algunos autores dicen que la mayor capacidad de rendimiento de los híbridos se debe principalmente al alto índice de cosecha en lugar de la biomasa aérea total en madurez fisiológica en comparación con líneas puras (Yang et al., 2007). Sin embargo otros mencionan que el mayor rendimiento se atribuye a una mayor acumulación de biomasa bajo condiciones favorables (Lafarge et al., Crisanta et al., citados por Fageria, 2007). Para Ponnuthurai et al., Song et al., citados por Lafarge et al. (2009) tanto el índice de cosecha y la biomasa aérea en madurez son los parámetros relevantes para apoyar el mayor rendimiento de los híbridos y ambos pueden ser considerados como rasgos específicos en los programas de mejoramiento (Lafarge et al., citados por Lafarge et al., 2009).

El IRRI ha continuado desarrollando muchos cultivares índicas de alto rendimiento tales como IR36, el IR 64, y IR72 (Peng y Khush, citados por Yang et al., 2007).

Pero el máximo rendimiento de grano de estas variedades índicas que se ha registrado es de 10 t ha⁻¹ en tierras tropicales bajo riego (Peng et al., citados por Yang et al., 2007). Esto sugiere que ha sido alcanzado una meseta en el rendimiento de variedades índicas en condiciones tropicales bajo riego (Peng et al., citados por Yang et al., 2007). Sin embargo Evans y Fischer, citados por Fageria (2007) informaron a pesar de que hay evidencia de que se ha alcanzado un techo en el potencial de rendimiento, los rendimientos medios aún podrían seguir aumentando a medida que el manejo del cultivo mejore y continuar mejorando en cuanto a la resistencia a las plagas, las enfermedades y el estrés ambiental.

Según Tanaka, citado por Blanco (1991) la producción de materia seca durante el período de llenado de grano es determinada por la habilidad potencial de la población fotosintetizante (fuente) y por la capacidad de los granos de aceptar los fotosintatos (fosa). La fosa es compuesta por: a) números de panojas por unidad de área de suelo, b) números de granos por panojas, c) porcentaje de granos llenos y d) tamaño individual de los granos o peso de los granos. La modificación de genotipos para lograr un mayor potencial de rendimiento no debe ser focalizada en uno de los componentes sino contemplar un aumento del número potencial de destinos, mejorando la provisión de fuente ya sea por una mayor eficiencia en la utilización de la radiación incidente y/o mayores tasas de removilización de reservas (Benavidez et al., 2006). El aumento del tamaño de fosa se puede alcanzar por el aumento del número de granos y/ o mediante el aumento de peso del grano en los cultivares de alto rendimiento (Wang et al., 1997).

El número de panojas es determinado predominantemente durante el período vegetativo, el tamaño de la panoja, número de granos por panoja y tamaño de grano durante la fase reproductiva o de desarrollo de la panoja (la más sensible a tensiones ambientales), peso de grano y % de esterilidad se determina en la fase de llenado de granos (Fageria, 2007). El tamaño de fosa número de panojas por unidad de superficie se determina antes de la floración y tiene importancia el clima, porque dependiendo de este el tamaño de la fosa es limitante o no para el rendimiento.

Según Fageria et al., citados por Fageria (2007) el número de panojas o número de granos por unidad de área es por lo general el componente más variable del rendimiento, afectando el tamaño de la fosa. Hay frecuentemente correlaciones negativas entre número de panojas y números de granos por panoja o entre número de granos por área de suelo y porcentaje de granos llenos o peso de grano debido a los efectos compensatorios.

La variación en el rendimiento de grano debido a los componentes del rendimiento es del orden de número panoja > esterilidad > peso de granos (Fageria, 2007).

En lo que respecta a la respuesta a la fertilización nitrogenada de los diferentes componentes, el más sensible es el número de panojas por metro cuadrado. El número de granos por panoja tiene poca variación; el peso individual de grano es más o menos constante y característico de cada cultivar, excepto en condiciones en que haya una disminución importante en la duración de la canopia durante el llenado de grano.

Fageria y Baligar, citados por Fageria (2007) reportaron que la aplicación de N en cantidad adecuada represento alrededor de 91% de variación en panojas m⁻², aproximadamente el 75% de variación en la esterilidad, y alrededor del 73% de variación en el peso de 1000 granos.

2.5.2 Número de panojas por metro cuadrado

El número de panojas por unidad de superficie se determina durante el período de hasta 10 días después que el máximo número de tallos es alcanzado y está muy influenciado por el suministro de nitrógeno y el nivel de radiación solar en el momento de macollaje (Murata y Matsushima, citados por Fageria, 2007).

Una planta que se caracterice por ser macolladora puede estar garantizando un alto números de panojas, por otra parte compensar el número de panojas en detrimento del tamaño puede resultar ventajoso si la variedad no posee buena estructura de tallos, ya que panojas grandes favorecen el vuelco. Ottis y Talbert, citados por Fageria (2007) reportaron una alta correlación ($R^2 > 0,85$) entre el rendimiento y la densidad de panojas. La capacidad de macollaje puede tener inconvenientes, se identificaron los mismos como las principales limitaciones para aumento del rendimiento de las variedades semi-enanas de alto rendimiento (Peng et al., 2008). Los problemas son que se producen un gran número de tallos improductivos y área foliar excesiva que puede causar sombreado mutuo y una reducción en la fotosíntesis (Dingkuhn et al., citados por Peng et al., 2008).

Para los híbridos se demostró que el alto rendimiento de grano puede alcanzarse mediante el aumento de panojas por metro cuadrado (Huang et al., 2011). El número de panojas por metro cuadrado puede aumentar mediante la aplicación de nitrógeno en las etapas iniciales (Fageria y Baligar, Ao et al., Lu et al., citados por Huang et al., 2011) mejorando el espaciamiento entre hileras de

plantas (Ao et al., citados por Huang et al., 2011) y aumento de las densidades de siembra (Gravois y Helms, Bond et al., citados por Huang et al., 2011).

2.5.3 Número de granos por panoja

Las etapas del crecimiento iniciación de panoja hasta floración y de floración a madurez fisiológica son importantes para la determinación del rendimiento debido a que durante estas etapas el potencial número de granos son formado (Fageria et al., citados por Fageria, 2007). El tamaño de la panoja consta del número de granos que componen la misma; y se relaciona positivamente con la altura de planta (Yoshida, 1981). Hay una relación inversa entre el tamaño de la panoja y el número de panojas por metro cuadrado (Fageria, 2007).

El número de granos está también lineal y positivamente correlacionado con la producción de materia seca durante la fase reproductiva. El factor más importante para la determinación del número de granos durante la fase reproductiva es la cantidad de N absorbido, aunque la fotosíntesis también contribuye en la determinación del número de granos (Ishii, citado por Fageria, 2007).

La influencia de la fertilización nitrogenada en el número de granos por panoja es normalmente positiva, pero tiene un efecto menor que el que se observa por ejemplo en el número de panojas por metro cuadrado como fue mencionado anteriormente. Para híbridos el tamaño de la panoja se puede ampliar mediante la aplicación de nitrógeno en la etapa de diferenciación de las espiguillas (Amano et al., Zhou et al., Yoshida et al., citados por Huang et al., 2011).

2.5.4 Porcentaje de esterilidad

El término de porcentaje de esterilidad se refiere al porcentaje de granos infértiles más los granos parcialmente llenos. La esterilidad está influenciada por factores del medio ambiente, pero también está controlado genéticamente y la selección de genotipos es posible (Fageria, 2007). Temperaturas extremadamente bajas durante el desarrollo de la panoja, en el estado meiótico de la célula madre de polen, causa incremento en la esterilidad. La radiación solar, parece afectar el llenado de grano y el porcentaje de granos llenos porque cuando la radiación solar es baja, la actividad de la fuente puede ser insuficiente para producir hidratos de carbono suficientes para el crecimiento de toda la espiguilla (Fageria, 2007).

En general, el porcentaje de granos llenos es de aproximadamente 85% en el arroz, en condiciones favorables (Yoshida, 1981). Por lo tanto, la posibilidad existe de aumentar el rendimiento del arroz en un 15% si se elimina la esterilidad. Cuando el número de granos llenos es más del 85%, la capacidad de fosa está limitando el rendimiento y cuando el número de granos llenos es inferior al 80%, la capacidad de suministro o fuente limita el rendimiento (Murata y Matsushima, citados por Fageria, 2007). El aumento de fotoasimilados durante la etapa de llenado es una forma para mejorar la tasa de llenado de los granos (Fageria, 2007).

En cuanto a la fertilización, menor absorción de N hasta la floración pueden reducir el nivel de N en la espiguilla, que induce una mayor esterilidad de la espiguilla (Yoshida, 1981). Los híbridos mantienen alto porcentaje de granos llenos a pesar del gran número de espiguillas porque traslocan hidratos de carbono acumulados en el tallo y la vaina a los granos en desarrollo siendo más eficientes que las variedades (Yan, Song et al., citados por Yang et al., 2008).

2.5.5 Peso de grano

El peso individual de grano en la cosecha es determinado por el suministro de asimilados por la fotosíntesis o de almacenados durante el período de llenado de grano, desde la anthesis hasta la madurez (Hay y Walker, citados por Baez y Toledo, 1998).

El peso del grano en el arroz se expresa generalmente en términos de peso de 1000 granos en gramos. El tamaño del grano está rígidamente controlado por el tamaño de la cascara en la mayoría de las condiciones, el peso de 1000 granos es de carácter varietal muy estable (Fageria, 2007).

Más del 85% de grano de arroz se compone de hidratos de carbono, de los cuales el componente principal es el almidón (Hayashi, citado por Fageria, 2007). El almidón acumulado en el grano de arroz se originó a partir de los hidratos de carbono asimilables en las hojas después de la floración o durante el llenado del grano, así como de los hidratos de carbono almacenados hasta la floración (Hayashi, citado por Fageria, 2007). Murata y Matsushima, citados por Fageria (2007) informó que la contribución de los hidratos de carbono producido antes de la floración al rendimiento final de grano parecía estar entre 20-40%. Por lo tanto, 70% de la producción de grano se produce a partir de los hidratos de carbono producidos después de la floración y la fotosíntesis después de la floración es de vital importancia para la sostenibilidad del rendimiento.

El peso de grano puede ser afectado por la duración de la tasa de llenado de grano, lo que debería mejorar el potencial de rendimiento significativamente (Peng et al., citados por Lafarge et al., 2009). Hay una variabilidad en el peso de grano dentro de la misma panoja. Granos de alta densidad, se encuentran mayormente en las ramificaciones primarias. Panojas con más ramificaciones primarias y menos secundarias pueden incrementar el rendimiento.

2.5.6 Algunos factores que afectan el rendimiento

2.5.6.1 Macollaje

Fageria (2007) menciona que plantas con alto macollamiento compensa la falta plantas en bajas densidades, pero los cultivares con una capacidad de macollaje limitada carecen de esta plasticidad. Sin embargo, bajo condiciones ambientales favorables, cultivares de alto macollamiento no tienen ventaja sobre los de bajo macollamiento en relación al rendimiento.

En siembra directa, la capacidad de macollaje rara vez afecta el rendimiento de grano, en siembra convencional si porque el número total de panojas por metro cuadrado depende más de el tallo principal que el de macollos (Yoshida, 1981).

El rendimiento de grano de los cereales depende en gran medida del número de tallos que tengan panojas por cada planta (Power y Alessi, Nerson, citados por Fageria, 2007). El macollaje se relacionó significativamente con rendimiento de grano en todas las etapas de crecimiento, la mayor correlación se dio con la etapa de iniciación de panojas (Fageria, 2007).

2.5.6.2 Altura

Para las plantas maduras, es la distancia desde el suelo al nivel de la punta de la panoja más alto. Altura de la planta es un rasgo importante porque se asocia con el vuelco de plantas (Fageria, 2007).

Los cultivares de arroz antiguos se caracterizaban por ser plantas superiores en altura respecto a los cultivares de arroz modernos y también son más susceptibles al vuelco con mayores tasas de fertilización nitrogenada. Esta situación cambió durante la última mitad del siglo XX, con un aumento dramático en el rendimiento de grano de los cereales (arroz, trigo y maíz), conocido como "revolución verde". En esta se desarrollaron cultivares con resistencia al vuelco, de baja estatura y de caña robusta que dan mayores rendimientos en comparación con los cultivares altos (Fageria, 2007).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN

El estudio fue realizado en el Campo Experimental Paso de la Laguna de la Estación Experimental del Este (INIA Treinta y Tres) a 28 km al Este de la ciudad de Treinta y Tres y con una Altitud m.s.n.m de 25m, con las siguientes coordenadas Latitud 33° 14' Sur y longitud 54° 22' Oeste.

3.2 SUELOS Y MANEJO PREVIO

El suelo sobre el cual se implantó el ensayo corresponde a un Solod Melánico/Ócrico, Unidad La Charqueada. El área experimental era parte del campo de mejoramiento genético de arroz, el cual integra una secuencia de 4 potreros con una rotación de un año de cultivo de arroz y 3 años de pasturas. El período bajo pasturas se conforma aproximadamente por un período de 2 años con una pastura sembrada, un período de laboreo y barbecho de verano libre de vegetación y un barbecho verde en el invierno previo a la siembra del arroz. De modo particular, en este caso se realizó un laboreo de verano convencional en el final del período estival del año 2010; de modo previo al experimento - sobre un barbecho químico- se realizó un laboreo mínimo, incluyendo compactación con rodillo. En esa condición se sembró con un equipo experimental de siembra directa.

3.3 DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

Se evaluó un grupo de cinco cultivares de arroz en tres niveles de densidad de siembra y dos niveles de fertilización nitrogenada, realizándose muestreos destructivos en las etapas fenológicas siguientes: macollaje (M), primordio (P), 50% floración (F), madurez (Mad). La muestra se obtuvo cortando las plantas al ras del suelo, por lo que se solo se considera la biomasa aérea. Esta se dividió en los diferentes órganos de la planta, determinándose materia seca en hojas, vainas, tallos y panojas en los momentos que estaban presentes. Se determinó área foliar, altura y población de macollos. A partir de esas mediciones básicas se calculó la tasa de crecimiento del cultivo y la tasa de asimilación neta para cada etapa del desarrollo. También se evaluaron largo, ancho máximo y promedio de hojas; así como tasa de área foliar (LAR), área específico de hoja (SLA) y tasa de peso de hojas (LWR) para las distintas etapas fenológicas. En el muestreo de madurez fisiológica se evaluaron los componentes del rendimiento. Las parcelas fueron cosechadas determinándose rendimiento e índice de cosecha.

Los cultivares utilizados fueron:

- El Paso 144, cultivar del subtipo Indica (se lo identificara como EP144)
- INIA Olimar (L3000) cultivar de tipo Indica (se lo identificara como Olimar)
- Avaxi CL (RiceTec) cultivar de tipo Indica (se lo identificara como Avaxi)
- Inov CL (RiceTec) cultivar de tipo Indica (se lo identificara como Inov)
- INIA Parao (L5502) cultivar de tipo Japónica tropical (se lo identificara como L5502)

El ensayo fue sembrado el día 21 de octubre de 2010, con tres densidades de siembra, con el objetivo de alcanzar 50, 150 y 250 plantas por m². Para eso se corrigió el peso de cada cultivar según % de germinación en el lote de semilla, peso de 1000 granos y se asumió un porcentaje de recuperación de plantas de 35%. De ese modo se utilizaron densidades diferentes para cada cultivar según se detalla:

Densidad 1: 50 kg/ha para L5502, 49 kg/ha para El Paso y Olimar, 47 kg/ha para Inov y 46 kg/ha para Avaxi.

Densidad 2: 150 kg/ha para L5502, 149 kg/ha para El Paso y Olimar, 147 kg/ha para Inov y 146 kg/ha para Avaxi.

Densidad 3: 250 kg/ha para L5502, 249 kg/ha para El Paso y Olimar, 247 kg/ha para Inov y 246 kg/ha para Avaxi.

Tabla No. 1. Número de plantas al inicio por metro cuadrado según cultivar y densidad

Cultivar	Densidad		
	1	2	3
Avaxi	104	324	506
El Paso 144	134	372	541
Inov	93	300	500
INIA Parao (L5502)	119	343	440
INIA Olimar	106	300	415

A partir de la tabla se observa que se supero las poblaciones que fueron buscadas, el problema fue asociado a que se obtuvo un % de recuperación por encima del esperado. Cuando en resultados y discusión se haga referencia a la densidad se deben considerar las de la tabla 1 no las las densidades objetivos.

Dadas las condiciones de baja humedad en el suelo se hizo un riego por superficie (“baño”) el día 22 de octubre. Esto favoreció una rápida emergencia del cultivo que se registró el 11 de noviembre de 2010. Esto a su vez incrementó a 60% el porcentaje de recuperación de plantas, lo cual implicó que se alcanzaran densidades superiores a las planificadas. Se estableció una lámina permanente de riego el día 13 de diciembre (32 días post emergencia). A partir de esa fecha se mantuvo con lámina de agua hasta la cosecha.

Se realizó una fertilización basal de 180 kg/ha de 7-40-7(12,6 kg de nitrógeno, 72 kg de P₂O₅ y 12,6 kg de K₂O) luego una fertilización en cobertura con dos niveles diferentes de nitrógeno: nivel 1, con 27,6 kg de nitrógeno (60 kg de urea) en macollaje y en primordio, nivel 2, con 46 kg de nitrógeno (100 kg de urea) en macollaje y en primordio. De este modo el nivel 1 de fertilización Nitrogenada fue de 67,8, mientras que el nivel 2 fue de 104.6 Kg. de N/ha totales.

El control de malezas fue realizado con una mezcla de tanque, en aplicación aérea, de Propanil + Facet + Command + Cyperex (2 + 1,3 + 0,9 l/ha + 0,2 kg/ha), 20 días post.-emergencia. Se realizó una doble aplicación de fungicida marca comercial Amistar Top (1lt/ha) (Azoxistrobina 20 % p/v (200 g/L), Difenconazol** 12,5 % p/v (125 g/L) y Coformulantes, c.s.p.100 % p/v (1 L)) de modo preventivo, 10 días previo a floración y 12 días luego de ésta.

3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño utilizado fue el de parcelas sub-sub-divididas considerando cultivar como parcela principal, densidad como sub-parcela, dentro de esta sub-parcela se ubicaron los niveles de nitrógeno. Se realizaron cuatro bloques. La parcela principal tenía 15m de largo por 3,10m de ancho. La siembra se realizó en líneas, con sembradora marca Semeato de 9 hileras y 17 cm entre hileras. La sub-parcela (un cultivar con una densidad y dos niveles de N) tenía una dimensión de 5m de largo y 3.1 m de ancho [18 surcos].

Esquema No. 1. Diseño del experimento

Bloque 4				
Cultivar				
1	4	5	2	3
N2 D3	N2 D2	N2 D3	N2 D1	N2 D2
N1 D3	N1 D2	N1 D3	N1 D1	N1 D2
N2 D2	N2 D1	N2 D1	N2 D3	N2 D3
N1 D2	N1 D1	N1 D1	N1 D3	N1 D3
N2 D1	N2 D3	N2 D2	N2 D2	N2 D1
N1 D1	N1 D3	N1 D2	N1 D2	N1 D1

Bloque 3				
Cultivar				
2	4	1	5	3
N2 D1	N2 D3	N2 D3	N2 D2	N2 D1
N1 D1	N1 D3	N1 D3	N1 D2	N1 D1
N2 D2	N2 D1	N2 D2	N2 D3	N2 D3
N1 D2	N1 D1	N1 D2	N1 D3	N1 D3
N2 D3	N2 D2	N2 D1	N2 D1	N2 D2
N1 D3	N1 D2	N1 D1	N1 D1	N1 D2

Bloque 2				
Cultivar				
2	4	5	3	1
N2 D1	N2 D1	N2 D2	N2 D3	N2 D3
N1 D1	N1 D1	N1 D2	N1 D3	N1 D3
N2 D2	N2 D3	N2 D1	N2 D2	N2 D2
N1 D2	N1 D3	N1 D1	N1 D2	N1 D2
N2 D3	N2 D2	N2 D3	N2 D1	N2 D1
N1 D3	N1 D2	N1 D3	N1 D1	N1 D1

Bloque 1				
Cultivar				
2	4	5	3	1
N2 D1	N2 D1	N2 D2	N2 D3	N2 D3
N1 D1	N1 D1	N1 D2	N1 D3	N1 D3
N2 D2	N2 D3	N2 D1	N2 D2	N2 D2
N1 D2	N1 D3	N1 D1	N1 D2	N1 D2
N2 D3	N2 D2	N2 D3	N2 D1	N2 D1
N1 D3	N1 D2	N1 D3	N1 D1	N1 D1

3.5 DETERMINACIONES Y REGISTROS

3.5.1 Evolución del macollaje

Con la finalidad de seguir la evolución del número de macollos durante el desarrollo se realizaron los siguientes registros en las etapas fenológicas de: pleno macollaje, primordio, 50% floración y madurez fisiológica. El seguimiento del número de macollos se realizó al azar, en muestreos de 1 m lineal. Para determinar la cantidad por m² se divide el número sobre 0,17metros (distancia entre hileras).

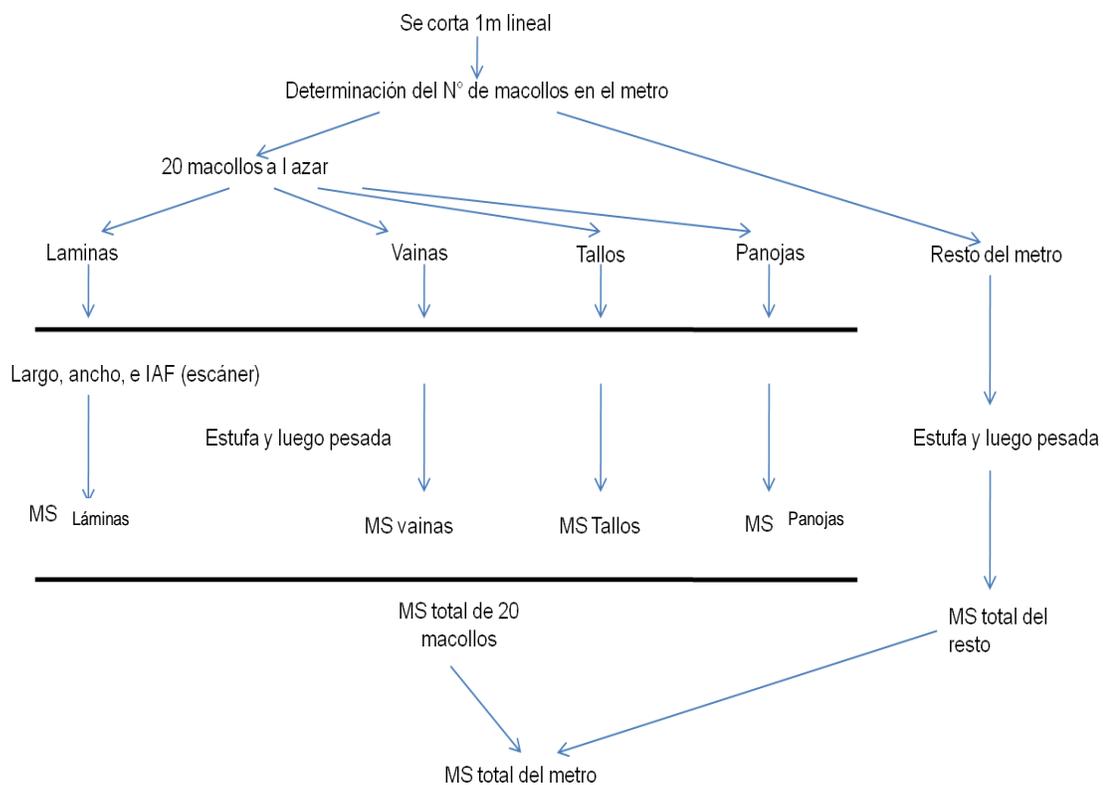
3.5.2 Evolución de la altura

Se hicieron determinaciones en los momentos mencionados anteriormente. Se uso una regla para medir altura de plantas, realizándose sobre el metro lineal muestreado, de esta se seleccionó el macollo más alto y se realizó la medida del mismo, desde la base hasta la hoja más alta extendida.

3.5.3 Evolución de la materia seca

Dentro de cada sub-parcela en los surcos destinados a realizar los muestreos destructivos, se eligió un metro representativo y se cortó con hoz al ras del suelo sin la raíz, esto se repitió durante las siguientes etapas: macollaje, primordio, 50% floración y madurez fisiológica, para todos los cultivares. La muestra se llevo al laboratorio en donde se saco una sub-muestra al azar de 20 macollos, a los cuales se los separó en sus distintas partes: hoja y vaina en los dos primeros muestreos y hoja, vaina, tallo y panoja en los otros dos. Estos componentes se colocaban en sobres de papel individual y se llevaban a estufa a 60 grados centígrados durante 24 horas. El resto de la muestra no sufrió alteraciones siendo que se colocaba en una caja e iba directamente a estufa en igual condición que las sub-muestras. Luego todas se pesaron en balanza electrónica, obteniéndose de esta manera la materia seca de hojas, vainas, tallos y panojas de 20 tallos. La materia seca total del metro se obtuvo de sumar la materia seca de todos los componentes de los 20 tallos muestreados mas la materia seca del resto del metro lineal.

Esquema No. 2. Diagrama de muestreo



3.5.4 Evolución del área foliar

A las mismas hojas de los 20 macollos muestreadas al azar a las cuales se le determinó materia seca, se les midió área foliar, largo, ancho promedio, ancho máximo mediante el aparato Leaf Area Meter LI3000 v 1.0.0..

A partir de los registros y determinaciones anteriores se calcularon nuevas variables:

-Materia seca total por metro cuadrado- Se obtuvo de sumar la materia seca de los 20 macollos muestreadas más la materia seca del resto del metro dividido 0,17 m (distancia entre hileras).

-Materia seca de hojas, vainas, tallos y panojas por metro cuadrado. La mejor forma de demostrar cómo se hace este cálculo es por medio de un ejemplo:

$$\text{M.S. hoja/m}^2 \text{ (Kg)} = \frac{\text{M.S. hoja de 20 tallos} * \text{M.S. total del metro/ 0,17}}{\text{M.S. total de 20 tallos}}$$

3.5.5 Cálculo de índices

Índice de área foliar IAF

$$\text{IAF (m}^2 \text{ hoja/m}^2 \text{ suelo)} = \frac{\text{A.F. 20 macollos} * \text{M.S. total del metro/ 0,17}}{\text{M.S. total de 20 macollos}}$$

Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)

$$\text{TCC (g/m}^2 \text{/día)} = \frac{\text{M.S. T2} - \text{M.S. T1}}{\text{T2} - \text{T1}}$$

M.S. T1 y M.S. T2= materia seca total momento 1 y 2 respectivamente. T1 y T2= días de ciclo al momento 1 y 2 respectivamente.

Tasa de crecimiento relativa del cultivo (TCR)

$$\text{TCR} = \frac{\text{M.S. T2} - \text{M.S. T1}}{\text{M.S. T1}}$$

M.S. T1 y M.S. T2= materia seca total momento 1 y 2 respectivamente.

Tasa de asimilación neta (TAN)

$$\text{TAN (g/m}^2 \text{/día)} = \frac{(\text{LN IAF2} - \text{LN IAF1}) * (\text{M.S. total T2/0,17} - \text{M.S. total T1/0,17})}{(\text{No. de días del periodo} * (\text{IAF2} - \text{IAF1}))}$$

Siendo IAF2 y IAF1= área foliar en momento 1 y 2 respectivamente.

El IAF y la TCC se calcularon para los siguientes períodos:

- 1- Emergencia hasta macollaje
- 2- Macollaje hasta primordio
- 3- Primordio hasta 50 % floración
- 4- 50 % floración hasta madurez fisiológica

3.5.6 Rendimiento

La estimación del rendimiento se hizo mediante el corte con hoz de seis surcos centrales de cada subparcela, (área de cosecha de 2.04m²). El material obtenido se trilló con una maquina trilladora estacional. El grano obtenido se limpio con zaranda y ventilador. Posteriormente se secó hasta 13% de humedad en secador Satake con aire caliente forzado.

3.5.6.1 Componentes de rendimiento

A partir de las panojas de las 20 macollos muestreadas al azar en madurez fisiológica se determino:

- ✓ Número de granos totales
- ✓ Número de granos llenos
- ✓ Número de granos parcialmente llenos
- ✓ Número de granos esteriles
- ✓ Porcentaje de esterilidad
- ✓ Peso de 1000 granos

Estas panojas se trillaron a mano, luego se pasó por un separador de grano, obteniéndose de esta forma granos llenos, parcialmente llenos y estériles. Luego se los pasó por un contador de granos, obteniéndose así el número de granos. Para obtener estas variables por panojas se dividió por el número de panojas de la muestra. Para obtener las primeras cuatro variables relacionadas por metro cuadrado, se multiplica el valor de cada una de ellas por panoja, por el número de panojas que tenía ese metro, divididas por 0,17 que es la distancia entre hileras. Porcentaje de esterilidad se obtuvo de dividir número de granos estériles entre número de granos totales, multiplicados por 100. Para obtener el peso de 1000 granos, se pesaron 3 sub-muestras de 30 gramos cada una, de cada muestra, luego se obtuvo el número de granos a través de un contador de granos, luego se obtuvo el promedio y con este valor se realizo una regla de tres para así obtener el peso de mil granos.

3.5.6.2 Índice de cosecha

Se obtuvo de dividir la biomasa total en granos (rendimiento) sobre la biomasa total en madurez.

3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para realizar el análisis se usó el programa JMP 7, la función Analisis. Las mínimas diferencias significativas dentro de cada variable se obtuvieron a partir de la separación de medias MDS en ese mismo programa. Funciones que usaron en jmp: analisis multivariado, análisis de cluster.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presenta tablas en la cual se resumen un conjunto de datos que se obtuvieron como resultado.

Tabla No. 2. Variables relacionadas con biomasa para el factor cultivar

Cultivar	Biomasa (kg/m ²)					LAR	LWR	SLA	IAF	TAN	Altura
	Hojas	Vainas	Tallos	Panojas	Total						
Avaxi	0,21 b	0,27 c	0,25 bc	0,88 a	0,96 bc	88,30 a	0,36 ab	234,08 a	4,7 a	6,80 c	63,8 d
El Paso 144	0,24 a	0,32 a	0,27 ab	0,79 bc	1,04 a	79,82 b	0,37 a	202,13 b	4,5 a	7,15 c	70,0 b
Inov	0,20 b	0,28 bc	0,25 bc	0,82 ab	0,98 b	69,99 c	0,33 c	202,77 b	3,9 b	8,04 b	72,6 a
INIA Parao (L5502)	0,20 b	0,27 c	0,24 c	0,76 c	0,92 c	67,28 cd	0,36 b	181,84 c	3,6 c	8,42 ab	65,6 c
INIA Olimar	0,20 b	0,29 b	0,28 a	0,84 ab	1,00 ab	66,86 d	0,33 c	185,90 c	3,6 c	8,94 a	69,8 b
Significancia	P=0,0001	P=<0,0001	P=0,0004	P=0,0036	P=0,0006	P=<0,0001	P=<0,0001	P=<0,0001	P=<0,0001	P=<0,0001	P=<0,0001
Coeficiente de variación %	21,60	24,38	21,8	20,40	20,07	17,7	13,2	7,81	22,38	31,2	5,38

Valores con letras diferentes dentro de columnas difieren significativamente

Tabla No. 3. Variables relacionadas con biomasa para el factor densidad

Densidad	Biomasa (kg/m ²)					LAR	LWR	SLA	IAF	TAN	Altura
	Hojas	Vainas	Tallos	Panojas	Total						
1	0,20 b	0,28 a	0,24 c	0,80 a	0,95 b	72,56 b	0,35 a	196,18 c	3,7 c	8,36 a	69,5 a
2	0,21 a	0,29 a	0,26 b	0,82 a	0,99 a	74,07 ab	0,34 a	201,86 b	4,1 b	7,77 ab	67,9 b
3	0,22 a	0,29 a	0,28 a	0,84 a	1,00 a	76,70 a	0,35 a	205,99 a	4,3 a	7,47 b	67,7 b
Significancia	P=0,0001	P=0,6078	P=0,0001	P=0,8771	P=0,0231	P=0,0197	P=0,9532	P=<0,0001	P=<0,0001	P=0,0055	P=0,0065

Valores con letras diferentes dentro de columnas difieren significativamente

Tabla No. 4. Variables relacionadas con biomasa para el factor momento fenológico

Momento fenológico	Biomasa (kg/m ²)					LAR	LWR	SLA	IAF	TAN	Altura
	Hojas	Vainas	Tallos	Panojas	Total						
Macollaje	0,06 d	0,04 d			0,09 d	141,72 a	0,60 a	234,82 a	1,5 d	14,60 a	35,1d
Primordio	0,19 c	0,24 c			0,43 c	93,04 b	0,45 b	205,42 b	4,0 c	6,40 b	59,4 c
Floración	0,32 a	0,52 a	0,28 a	0,30 b	1,26 b	43,32 c	0,23 c	190,91 c	6,2 a	5,35 c	87,8 b
50% Madurez	0,26 b	0,35 b	0,24 b	1,34 a	2,14 a	20,82 d	0,12 d	174,50 d	4,6 b	5,17 c	91,1 a
Significancia	P=0,0001	P=<0,0001	P=0,0065								
Valores con letras diferentes dentro columnas difieren significativamente											

Tabla No. 5. Variables relacionadas con el rendimiento para el factor cultivar

Cultivar	Rendimiento	Componentes del rendimiento					Índice de cosecha IC
		Panojas/m ²	No. de granos/panoja	No. de granos totales/m ²	Peso de mil granos (gr)	% Esterilidad	
Avaxi	13557 a	835 a	92,21 d	74921 a	26,14 d	8,10 b	0,57 a
El Paso 144	12631 b	611 b	111,36 c	67229 b	26,63 c	11,33 a	0,50 b
Inov	13347 a	526 c	133,38 a	69374 ab	27,94 a	11,91 a	0,58 a
INIA Parao (L5502)	11167 d	518 c	124,52 b	63011 b	27,58 ab	7,16 b	0,59 a
INIA Olimar	11958 c	611 b	110,76 c	67046 b	27,24 b	11,45 a	0,53 ab
Significancia	P=< 0,0001	P=< 0,0001	P=< 0,0001	P=0,0369	P=<0,0001	P=< 0,0001	P= 0,0177
Coefficiente de variación %	8,27	17	10,1	19,05	2,63	22,5	17,9

Valores con letras diferentes dentro de columnas difieren significativamente

Tabla No. 6. Variables relacionadas con el rendimiento para el factor densidad

Densidad	Rendimiento	Componentes del rendimiento					Índice de cosecha IC
		Panojas/m ²	No. de granos/panoja	No. de granos totales/m ²	Peso de mil granos (gr)	% Esterilidad	
1	12607 a	536 c	136,58 a	71815 a	26,80 b	10,25 a	0,61 a
2	12517 a	634 b	106,61 b	67365 a	27,33 a	9,88 a	0,61 a
3	12471 a	691 a	100,14 c	65769 a	27,18 a	9,84 a	0,59 a
Significancia	P=0,9114	P=< 0,0001	P=< 0,0001	P=0,1519	P= 0,0046	P=0,7910	P=0,7099

Valores con letras diferentes dentro de columnas difieren significativamente

4.1 MACOLLAJE

Avaxi es el cultivar de mayor macollaje (No. tallos/m² promedio para todo el periodo), superando a la variedad El Paso 144 –de conocido alto macollamiento (Castro y Porto 1994, Baez y Toledo 1998). Los restantes cultivares –incluido el híbrido InovCL- presentan significativamente menos tallos/m².

Tabla No. 7. Número de tallos/m² promedio para todo el ciclo según cultivar

Cultivar	No. tallos/m²
Avaxi	959 a
EP144	756 b
Olimar	670 c
Inov	644 cd
L5502	624 d

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas difieren significativamente ($P = < 0,0001$)
Coeficiente de variación= 19,6 %

De igual manera al factor cultivares, se generaron diferencias significativas en macollamiento en respuesta a los diferentes niveles de densidad de siembra. Como esperado, las mayores densidad de siembra significaron incrementos en la población de tallos que conformaban la canopia.

Tabla No. 8. Número de tallos/m² promedio para todo el ciclo según densidad

Densidad	No. tallos/m²
3	841 a
2	760 b
1	593 c

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas difieren significativamente ($P = < 0,0001$)

El tercer factor experimental incluido –dosis de nitrógeno- no causó diferencias significativas.

El momento fenológico generó variaciones esperables en la dinámica del macollamiento, obteniéndose los mayores valores en estadios vegetativos (pleno macollamiento), con una declinación significativa hasta floración. Durante el período de llenado de granos no se registran variaciones significativas en el número de tallos.

Tabla No. 9. Número de tallos/m² promedio según período

Período	No. tallos/m²
Macollaje	918 a
Primordio	755 b
Floración 50%	631 c
Madurez	620 c

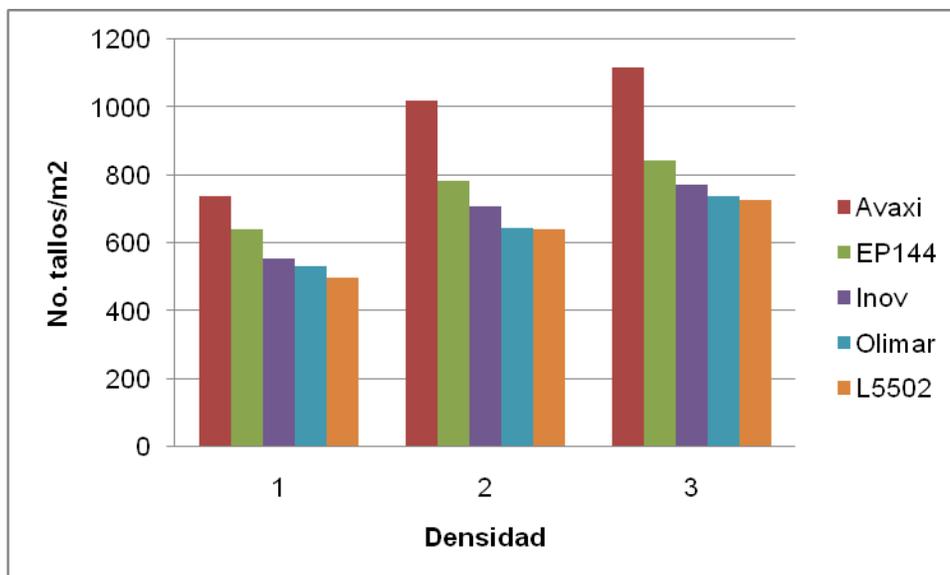
Nota: Valores con letras diferentes entre las filas difieren significativamente (P= < 0,0001)

Tabla No. 10. Número de tallos/m² según densidad y cultivar

Densidad	Cultivar				
	Avaxi	EP144	Inov	Olimar	L5502
1	738 de	641 f	556 g	531 g	499 g
2	1021 b	785 cd	709 f	646 e	640 f
3	1117 a	844 c	772 de	738 de	727 de

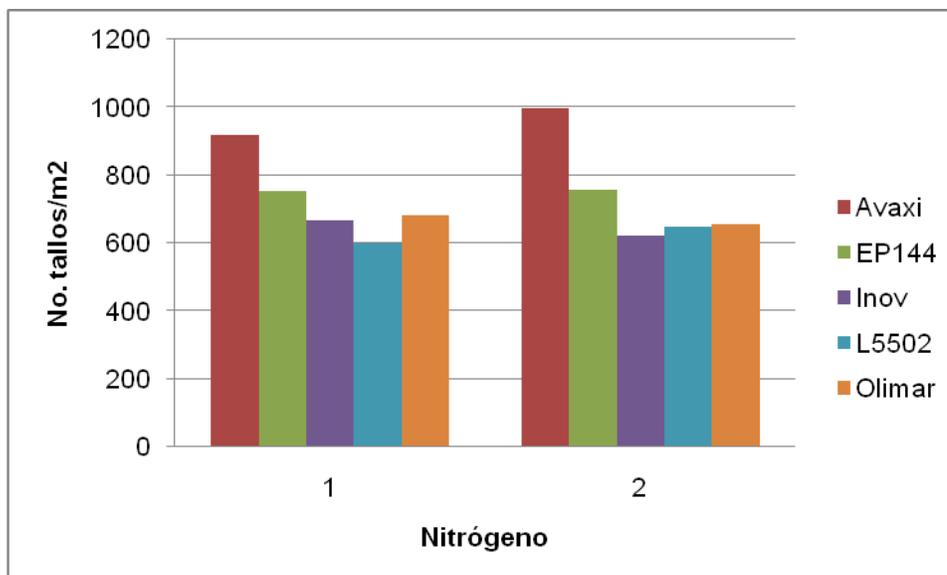
Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente (P= 0,0026)

De modo gráfico se aprecia que Avaxi alcanza valores poblacionales significativamente mayores aun en altas densidades, indicando una gran plasticidad para alojar un alto número de tallos en ese caso. Las diferencias entre los restantes cultivares mantienen la tendencia general discutida previamente.

Figura No. 1. Número de tallos/m² según densidad y cultivarTabla No. 11. Número de tallos/m² según nitrógeno y cultivar

Nitrógeno	Cultivar				
	Avaxi	EP144	Inov	L5502	Olimar
1	920 b	755 c	667 de	601 f	683 d
2	998 a	759 c	622 ef	648 def	658 def

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente (P= 0,0184)

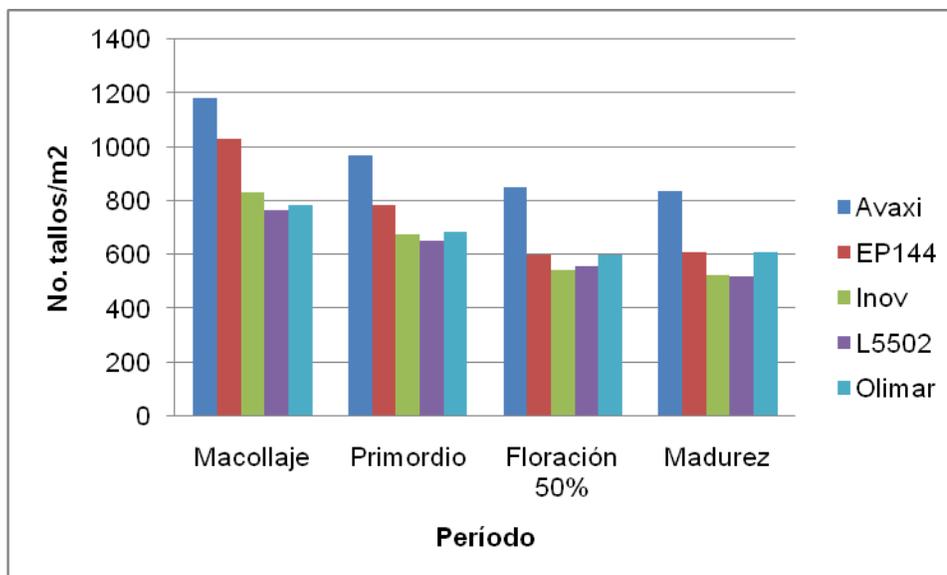
Figura No. 2. Número de tallos/m² según nitrógeno y cultivar

Avaxi es el único cultivar que responde de modo significativo en este componente de rendimiento al agregado de nitrógeno. El comportamiento general muestra a Avaxi con el mayor macollamiento, luego El Paso 144 y finalmente el grupo de Olimar, Inov y L5502. Como era esperable Olimar e Inov (híbrido en el que Olimar es parental) no difieren significativamente en este carácter con valores intermedios. En este sentido L5502 –germoplasma del subtipo *Japónica* tropical- típicamente presenta valores inferiores a los cultivares Indica de alto macollamiento.

Tabla No. 12. Número de tallos/m² según período y cultivar

Período	Cultivar				
	Avaxi	EP144	Inov	L5502	Olimar
Macollaje	1181 a	1030 b	831 cd	768 de	785 cd
Primordio	971 b	784 cd	677 fg	651 fg	688 ef
Floración	850 c	602 ghi	546 hij	560 hij	599 ghij
50% Madurez	835 cd	611 fgh	526 ij	518 j	611 fgh

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente (P= 0,004)

Figura No. 3. Número de tallos/m² según período y cultivar

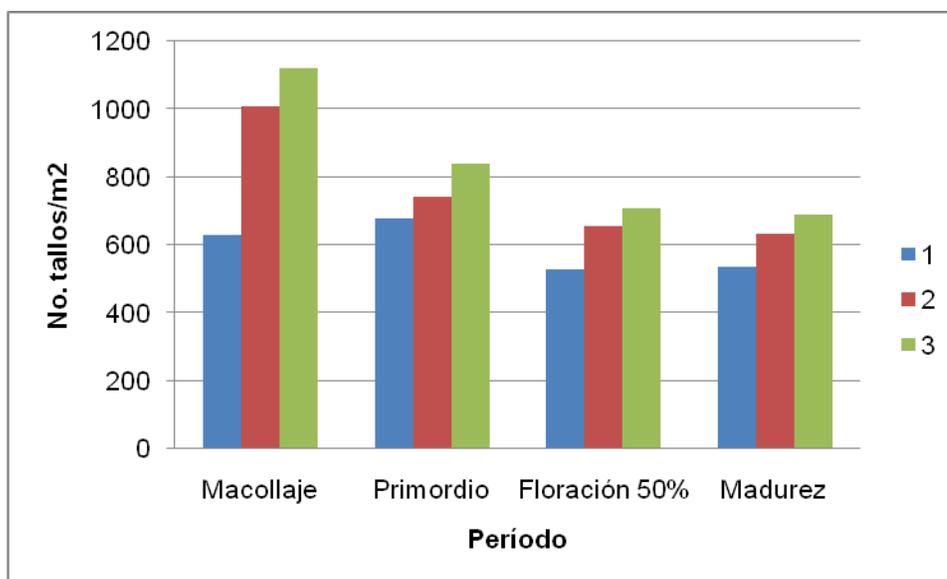
Como se aprecia en tabla 12 y figura 3, Avaxi presenta en todos los estadios valores superiores de tallos/m²; la reducción de tallos es de 30 % entre valores máximos y mínimos (macollaje y madurez). El Paso 144 presenta valores intermedios con un alto macollamiento inicial que resulta inefectivo (mortalidad 40%). A madurez no presenta diferencias con Olimar (aproximadamente 600 tallos/m²); considerando el potencial de rendimiento de estos cultivares, resulta de escaso impacto dicho crecimiento vegetativo, por lo cual en un contexto libre de malezas, este no resultaría en una ventaja. Si se realiza una comparación entre Inov y Avaxi (cultivares híbridos sin diferencias en rendimiento), teniendo el primero un 37 % menos de tallos en madurez, presenta aproximadamente un 10 % más de reducción de tallos entre macollaje y madurez.

Tabla No. 13. Número de tallos/m² según período y densidad para todos los cultivares

Densidad	Período			
	Macollaje	Primordio	Floración 50%	Madurez
1	630 f	679 ef	527 g	536 g
2	1007 b	743 d	658 ef	634 f
3	1120 a	839 c	708 de	691 def

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente ($P < 0,0001$)

Figura No. 4. Número de tallos/m² según período y densidad para todos los cultivares



Considerando todos los cultivares, en general, las diferencias en el desarrollo vegetativo de las canopias, tienden a minimizarse hacia la madurez; indicando que el cultivo ajusta la población de tallos en función de los recursos disponibles. De acuerdo a estos resultados el manejo de altas densidades podría justificarse como un seguro para eventuales problemas de implantación o competencia a malezas no controladas. Sin embargo, el número final de tallos es similar al obtenido en la densidad intermedia. Así mismo, en cuanto a la evolución del número de tallos/m² en los diferentes estadios, para D3 y D2 el N

tallos/m² desciende a partir de macollaje hasta floración. Para la densidad más baja, este descenso se da a partir de Primordio.

4.2 ALTURA DE PLANTAS

La altura de plantas presentó diferencias estadísticamente significativas entre cultivares (Tabla 2), así como debidas a la densidad de la canopia generada en cada tratamiento (Tabla 3); sin embargo estas son de baja magnitud y no tienen implicancias prácticas en la expresión de productividad. Los cultivares híbridos tienen los valores extremos, Inov presenta casi 10 cm de altura más que Avaxi.

Por otra parte, el tercer factor experimental incluido –dosis de nitrógeno– no causó diferencias significativas (datos no mostrados); mientras que el momento fenológico varió significativamente la altura de las plantas (Tabla 4), como era de esperar a medida que avanza el ciclo del cultivo. Los mayores valores se expresan hacia el final del ciclo del cultivo, cuando se presentan diferencias significativas pero de menor cuantía entre floración y madurez fisiológica.

La interacción de cultivar*densidad de siembra resulta significativa; sin embargo en general la tendencia de ranking de altura entre cultivares se mantiene. Según el ANAVA algunos cultivares no modifican su altura según densidad de siembra (Olimar, Inov), mientras que otros (Avaxi, L5502) tienen mayor altura en densidad 1.

Tabla No. 14 Altura (cm) según densidad y cultivar

Densidad	Cultivar				
	Avaxi	EP144	Inov	L5502	Olimar
1	65,4 g	71,1bcd	73,6 a	67,9 f	69,3 def
2	62,6 i	69,0 ef	72,8 ab	64,6 gh	70,5 cdf
3	63,3 hi	69,9 cde	71,5 bc	64,2 ghi	69,7 cde

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente (P= 0,0116)

Figura No. 5. Altura (cm) según densidad y cultivar

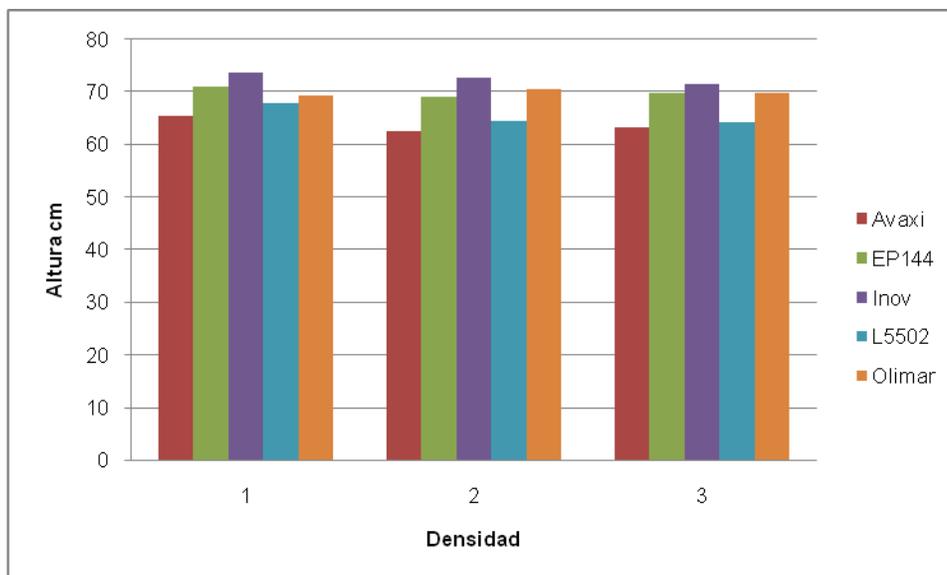


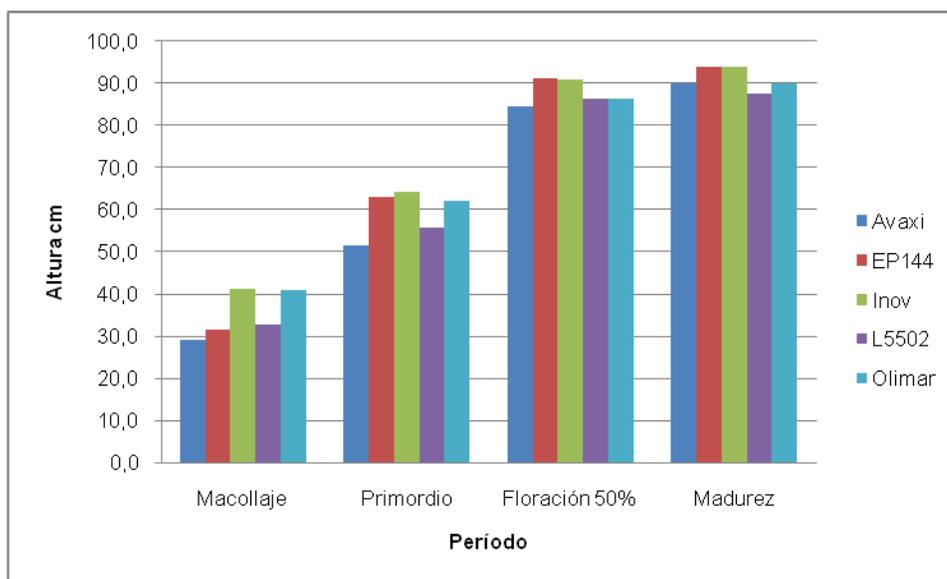
Tabla No. 15. Altura (cm) según momento fenológico y cultivar

Período	Cultivar				
	Avaxi	EP144	Inov	L5502	Olimar
Macollaje	29,1 k	31,6 j	41,3 i	32,6 j	41,0 i
Primordio	51,5 h	63,2 ef	64,3 e	55,7 g	62,0 f
Floración 50%	84,4 d	91,1 b	91,0 b	86,4 cd	86,3 cd
Madurez	89,9 b	94,1 a	93,8 a	87,5 c	90,0 b

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente ($P < 0,0001$)

INIA Olimar e Inov (híbrido derivado de aquel) presentan la mayor altura en estadio vegetativo, asociado a hojas más largas. Estas no se caracterizan por ser erectas sino más decumbentes que las de los restantes cultivares (observación de campo); por lo cual la diferencia registrada es en parte debido a la metodología empleada (medida del largo de plantas estiradas). En un estadio posterior, El Paso 144 presenta valores similares a los anteriores cultivares, mientras que Avaxi y L5502 son las de menor altura. En floración, El Paso 144 e Inov superan significativamente en altura al resto de los cultivares. En este experimento no se registraron eventos de vuelco en ninguno de los genotipos, aunque alcanzaron altos rendimientos (promedio general 12.5 t/ha).

Figura No. 6. Altura (cm) según momento fenológico y cultivar



El nitrógeno agregado en dos tratamientos (55 y 92 unidades totales en tratamientos 1 y 2 respectivamente) afectó el desarrollo en altura del cultivo; resultaron diferencias significativas según la densidad de siembra. En canopias más cerradas (IAF de 4,3) el mayor agregado de N (37 unidades mas) redundó en plantas más bajas (dif=1.4 cm). En densidades más bajas se obtuvo una respuesta inversa (Tabla 16). Se aprecia que a baja densidad el agregado de nitrógeno no incide en la altura; si afecta para densidad intermedia en forma positiva y para alta densidad en forma negativa.

Tabla No. 16. Altura (cm) según dosis de nitrógeno y densidad de siembra

Nitrógeno	Densidad		
	1	2	3
1	69,3 ab	67,2 c	68,4 b
2	69,7 a	68,5 ab	67,0 c

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente (P= 0,0041)

Tabla No. 17. Altura (cm) según momento fenológico y densidad de siembra

Densidad	Período			
	Macollaje	Primordio	Floración 50%	Madurez
1	36,2 f	59,6 e	88,4 cd	93,8 a
2	34,9 fg	59,3 e	88,1 cd	89,2 bc
3	34,3 g	59,2 e	87,1 d	90,2 b

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente (P=0,0039)

Se puede apreciar que para los periodos primordio y floración el aumento en densidad no implica aumento de altura. En madurez y macollaje la densidad tiene un efecto positivo con la altura.

Tabla No. 18. Altura (cm) según dosis de nitrógeno y momento fenológico

Nitrógeno	Período			
	Macollaje	Primordio	Floracion 50%	Madurez
1	34,3 f	59,3 d	87,7 c	91,9 a
2	36,0 e	59,4 d	88,0 c	90,2 b

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente (P=0,0065)

Se observa que para macollaje y madurez hay efecto en el agregado del nitrógeno, positivo para el primero y negativo para el segundo. En N1 y N2 el mayor valor de altura cm lo presenta en madurez, le sigue floración, primordio y con el menor valor macollaje como era de esperar.

4.3 ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF)

El análisis de varianza mostró diferencias significativas en IAF para el factor cultivar. Avaxi y El Paso 144 (cultivares de alto macollamiento y producción de hojas) fueron los que presentaron mayor valor, seguidos por Inov de valor intermedio, mientras que INIA Olimar e INIA Parao (L5502) presentaron los menores guarismos (Tabla 2).

Por otra parte, y en el mismo sentido que el factor anterior, el factor experimental densidades de siembra fue exitoso en crear canopias diferentes, presentando así diferentes valores -estadísticamente significativos- (Tabla 3).

El manejo de la densidad de siembra tuvo un impacto muy significativo en la obtención de canopias de mayor desarrollo foliar; en el rango de plantas manejado (111, 328, 480 plantas/m² promedio para densidad 1, 2 y 3 respectivamente) se obtuvo un incremento lineal en IAF al incrementar la densidad de plantas.

Así mismo, el aplicado de diferentes dosis de nitrógeno también afectó significativamente el desarrollo de hojas. Según Murata y Matsushima, citados por Santos et al. (2006) la fertilización con nitrógeno provoca un incremento en el IAF por medio de un aumento del número de macollos y el tamaño de las hojas sucesivas. Esto se vio reflejado de modo general en este experimento. Así mismo y de acuerdo a Santos et al., 2006 sería esperable tener un impacto en el rendimiento mediante el manejo de estos factores experimentales.

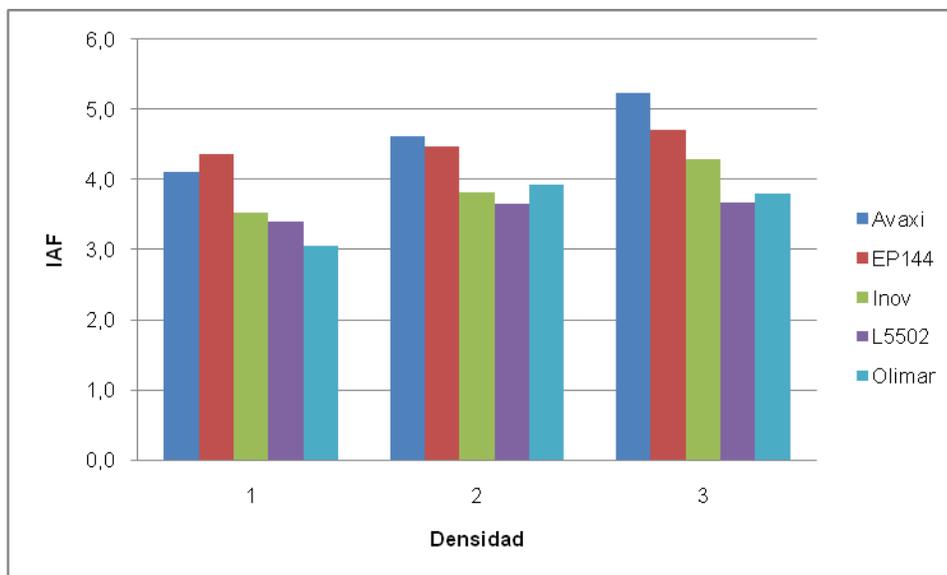
El IAF aumenta rápidamente alcanzando su máximo valor en 50% Floración. El área foliar decrece después que la planta madura debido a la senescencia de hojas y en particular la muerte de hojas inferiores. Este mismo comportamiento se observó en la evolución de la biomasa de de hojas (Tabla 4).

Tabla No. 19. Índice de área foliar (IAF) según densidad de siembra y cultivar

Densidad	Cultivar				
	Avaxi	EP144	Inov	L5502	Olimar
1	4,1 cde	4,4 bcd	3,5 fg	3,4 gh	3,1 h
2	4,6 b	4,5 bc	3,8 efg	3,7 fg	3,9 def
3	5,2 a	4,7 b	4,3 bcd	3,7 efg	3,8 efg

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente (P= 0,0465).

Figura No. 7. Índice de área foliar según densidad y cultivar



En todas las densidades, El Paso 144 y Avaxi presentan los mayores valores de IAF; sin embargo, en densidad 3, Avaxi continúa incrementando su desarrollo foliar y supera signif. a El Paso 144. Una respuesta similar presenta Inov, que supera en IAF a Olimar en la mayor densidad. Es así que se aprecia una respuesta positiva al aumento de la densidad para los materiales híbridos. Es de destacar de modo particular, la plasticidad vegetativa de El Paso 144 y L5502, ya que no tuvieron diferencias significativas en IAF para las diferentes densidades, aunque en niveles contrastantes (4,5 vs 3,6, respectivamente). Por otra parte, estos dos cultivares son los únicos que presentan una respuesta general de incremento en IAF producto del agregado adicional de nitrógeno (Tabla 19).

Tabla No. 20. Índice de área foliar (IAF) según dosis de nitrógeno y cultivar

Nitrógeno	Cultivar				
	Avaxi	EP144	Inov	L5502	Olimar
1	4,6 ab	4,3 bc	4,0 cd	3,3 f	3,6 def
2	4,7 a	4,7 a	3,8 de	3,8 de	3,6 ef

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente (P= 0,0265)

En estadios iniciales la mayoría de los cultivares presentan desarrollo foliares similares, con la excepción de INIA Parao (L5502) que resulta menor respecto a Avaxi. En momentos de mayor relevancia para la concreción del rendimiento (Santos et al., 2006). Avaxi y El Paso 144 presentan los valores de IAF mayores, mientras que Olimar es el menor. En madurez, el desarrollo foliar remanente es aún mayor en los cultivares de mayor IAF a floración. Sin embargo son Inov e INIA Olimar los de menor reducción durante los momentos fenológicos de llenado de granos.

Tabla No. 21. Índice de área foliar (IAF) según momento fenológico y cultivar

Momento fenológico	Cultivar				
	Avaxi	EP144	Inov	L5502	Olimar
Macollaje	1,8 h	1,6 hi	1,5 hi	1,2 i	1,3 hi
Primordio	4,5 e	4,2 ef	4,0 efg	3,5 g	3,6 g
Floración 50%	7,1 a	7,1 a	5,6 bc	5,8 b	5,2 cd
Madurez	5,3 bcd	5,0 d	4,4 e	3,8b fg	4,3 e

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente ($P < 0,0001$)

Tabla No. 22. Índice de área foliar (IAF) según momento fenológico y densidad de siembra

Momento Fenológico	Densidad		
	1	2	3
Macollaje	1,0 f	1,6 e	1,8 e
Primordio	3,7 d	3,9 d	4,3 c
Floración 50%	5,6 b	6,4 a	6,5 a
Madurez	4,5 c	4,4 c	4,7 c

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente ($P=0,0258$)

La evolución del IAF en densidades de siembra y los distintos estadios de muestreos, presenta similitudes en su tendencia, aunque la densidad de la canopia se refleja en los valores de IAF. A floración sin embargo, el IAF de las canopias más cerradas (densidades 2 y 3) es similar. En madurez y producto de la senescencia asociada al llenado de granos, el IAF de las 3 densidades no difieren.

4.4 BIOMASA

4.4.1 Biomasa total

Con respecto al factor cultivar se puede observar (Tabla 2) que El Paso 144 presenta la mayor biomasa total, pero no se diferencia de INIA Olimar, que no difiere de Inov y Avaxi. El que tiene menor producción de biomasa de todos es L5502.

Las densidades de siembra incrementaron de modo no lineal la acumulación de biomasa (Tabla 3). Las densidades 2 y 3 no difieren significativamente, indicando la existencia de un Plateau en productividad debido a la limitante impuesta por un factor de crecimiento en niveles limitantes. Como se mencionara, el área foliar se incrementó de modo casi lineal desde densidad 1 a 3; esto indicaría que en una canopia más cerrada la biomasa se distribuyó proporcionalmente más orientado a la formación de hojas. Esto sería indicativo que el factor limitante en dichas canopias es la disponibilidad de radiación.

El incremento en biomasa (kg/ha) es aproximadamente lineal, en las condiciones de este ensayo (Tabla 4). La alta productividad obtenida al final del ciclo de vida de los cultivares es representada por la obtención de más de 20 t/ha de materia seca total sobre la superficie del suelo, considerando un índice de cosecha superior a 0.5 –típico de cultivares modernos- explica los rendimientos entre 11 y 13 t/ha obtenidos por los cultivares.

La interacción con cultivares resulta significativa dado que un cultivar (Inov) es el único que presenta una respuesta significativa –depresiva- a la dosis mayor de nitrógeno.

Tabla No. 23. Biomasa total (kg/m²) según nivel de nitrógeno y cultivar

Nitrógeno	Cultivar				
	Avaxi	EP144	Inov	L5502	Olimar
1	0,93 b	1,04 a	1,04 a	0,92 b	1,02 a
2	0,99 ab	1,04 a	0,93 b	0,92 b	0,98 ab

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente (P= 0,0342)

Tabla No. 24. Biomasa total (kg/m²) según momento fenológico y cultivar

Momento fenológico	Cultivar				
	Avaxi	EP144	Inov	L5502	Olimar
Macollaje	0,09 g	0,08 g	0,10 g	0,08 g	0,08 g
Primordio	0,40 f	0,43 f	0,47 f	0,41 f	0,46 f
Floración 50%	1,26 de	1,30 d	1,29 de	1,19 e	1,26 de
Madurez	2,09 bc	2,34 a	2,07 c	1,99 c	2,19 b

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente (P= 0,0024)

A partir de la tabla cuando avanza el ciclo del cultivo se observan diferencias en biomasa para los cultivares. En 50% de floración El Paso 144 se diferencia de INIA Parao; para madurez se destaca El Paso 144 por la mayor producción de biomasa.

4.4.2 Materia seca de hojas

En el promedio del ciclo de vida los cultivares evaluados –con la excepción de El Paso 144- presentaron similares valores de biomasa acumulada en hojas (Tabla 2). El Paso 144, se destaca por un amplio desarrollo foliar en varios estadios.

Al incrementar el número de individuos en la canopia hay un incremento lineal en la cantidad de biomasa depositada en hojas, lo cual se corresponde con el incremento en área foliar descrito anteriormente en respuesta a la densidad de siembra (Tabla 3). Como esperable, post floración se da una disminución del área foliar y por ende de la biomasa alocada en hojas.

Tabla No. 25. Biomasa en hojas (kg/m²) promedio para todo el ciclo de los diferentes cultivares con diferentes niveles de nitrógeno

Nitrógeno	Cultivar				
	Avaxi	EP144	Inov	L5502	Olimar
1	0,20 cd	0,23 ab	0,21 cd	0,19 d	0,21 cd
2	0,21 cd	0,25 a	0,19 d	0,21 bc	0,20 cd

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente (P=0,0289)

INIA Parao (L5502) es el único cultivar que muestra una respuesta significativa incrementando la materia seca acumulada en hojas ante el agregado de N.

De todas maneras, la biomasa acumulada por la canopia de El Paso 144 supera significativamente a la de L5502, comparando una misma dosis de N; o de otra manera, en esta última se requirió la dosis de N2 para obtener una biomasa similar en hojas a la EP144 en la dosis N1.

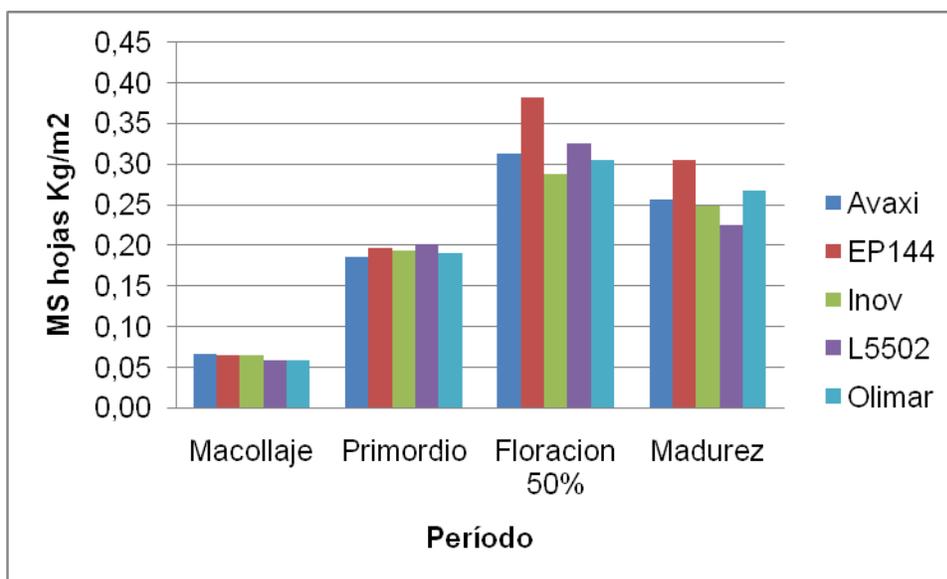
Tabla No. 26. Biomasa en hojas (kg/m²) según momento fenológico y cultivar

Momento Fenológico	Cultivar				
	Avaxi	EP144	Inov	L5502	Olimar
Macollaje	0,07 i	0,06 i	0,06 i	0,06 i	0,06 i
Primordio	0,19 h	0,20 h	0,19 h	0,20 gh	0,19 h
Floración 50%	0,31 bc	0,38 a	0,29 cd	0,33 b	0,30 bc
Madurez	0,26 e	0,30 bc	0,25 ef	0,22 fg	0,27 de

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente (P=< 0,0001)

EP144 presenta a floración y madurez mayor diferencia al resto de los cultivares –que a su vez no difieren entre ellos- en biomasa foliar. El desarrollo de hojas tenía para este cultivar un claro efecto en el alto IAF a esos estadios.

Figura No. 8. Biomasa en hojas (kg/m²) según momento fenológico y cultivar



Las diferentes canopias conformadas debido a la densidad de siembra tuvieron en consecuencia diferentes evoluciones en la acumulación de biomasa foliar. De esta manera, en estadio vegetativo, la densidad 1 presentó menor biomasa en hojas, mientras que al inicio de reproductivo, no se aprecian diferencias entre la densidad mencionada y densidad 2. En momentos fenológicos de concreción del rendimiento (floración y madurez fisiológica), las diferencias entre densidades no fue significativa.

Tabla No. 27. Biomasa en hojas (kg/m²) según densidad y momento fenológico

Momento Fenológico	Densidad		
	1	2	3
Macollaje	0,04 g	0,07 f	0,08 f
Primordio	0,18 e	0,19 de	0,21 d
Floración 50%	0,30 a	0,33 a	0,33 a
Madurez	0,26 c	0,25 c	0,26 c

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente (P= 0,043)

La biomasa foliar, componente de la biomasa total acumulada presentó diferencias solo temporales -estadio de primordio- a causa de las dosis de nitrógeno.

Tabla No. 28. Biomasa en hojas (kg/m²) según dosis de nitrógeno y momento fenológico

Período	Nitrógeno	
	1	2
Macollaje	0,06 e	0,06 e
Primordio	0,18 d	0,21 c
Floración 50%	0,33 a	0,32 a
Madurez	0,26 b	0,26 b

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas difieren significativamente (P= 0,0204)

4.4.3 Materia seca en vainas

El Paso 144 es el cultivar que hace mayor acumulación de biomasa en vainas, así como lo fuera en biomasa en hojas. Los restantes cultivares presentan valores muy similares, destacándose INIA Olimar con valor superior a INIA Parao(L5502) y a Avaxi (Tabla 2).

La evolución de este componente en el ciclo de vida de los cultivares es el esperado, incluido el valor máximo en floración, así como un pronunciado descenso durante llenado de granos, lo que indicaría la movilización de carbohidratos desde estos tejidos hacia la panoja, en particular, de reservas o carbohidratos no estructurales. La reducción en materia seca de vainas en esos momentos fenológicos fue de un 32%, mientras que la reducción en biomasa de hojas fue de 19% (Tabla 4).

Los cultivares presentaron similar evolución en esta variable durante sus ciclos de vida, con la excepción de El Paso 144. Este cultivar presentó los mayores valores (diferencias muy significativas) en floración y madurez fisiológica, lo cual es concordante con resultados previos de Castro y Porto, 1994. Estos hallazgos han conducido a la hipótesis de un rol significativo de dichas reservas prefloración en el llenado de granos de el cultivar El Paso 144 ¹

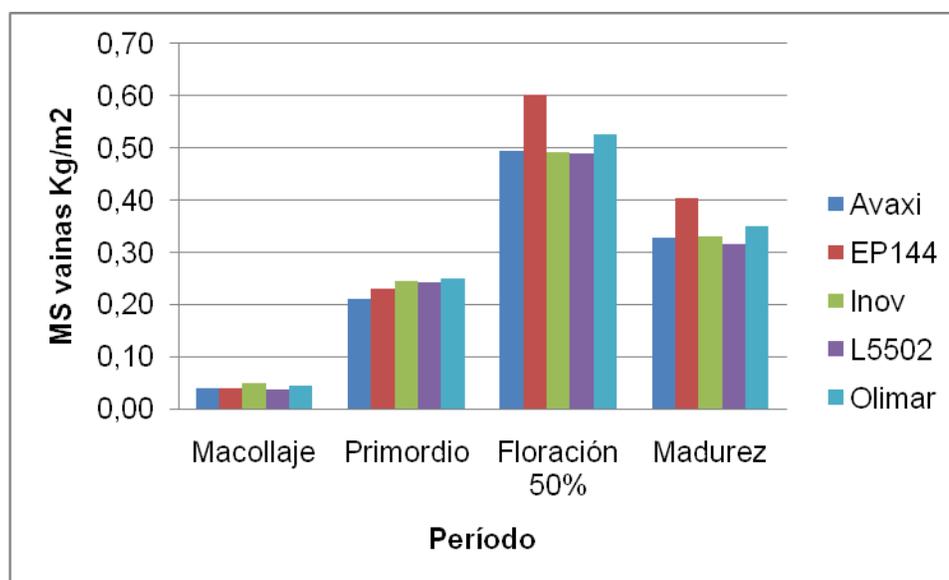
¹ Pérez de Vida, F. 2011. Com. personal.

Tabla No. 29. Biomasa en vainas (kg/m²) según cultivar y momento fenológico

Momento fenológico	Cultivar				
	Avaxi	EP144	Inov	L5502	Olimar
Macollaje	0,04 f	0,04 f	0,05 f	0,04 f	0,04 f
Primordio	0,21 e	0,23 e	0,25 e	0,24 e	0,25 e
Floración	0,49 b	0,60 a	0,49 b	0,49 b	0,53 b
50%					
Madurez	0,33 d	0,40 c	0,33 d	0,32 d	0,35 d

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente ($P < 0,0001$)

Figura No. 9. Biomasa de vainas (kg/m²) según cultivar y periodo



4.4.4 Materia seca de tallos

Los cultivares presentaron en general menores diferencias en la biomasa alocada en tallos; Olimar y EP144 tuvieron los mayores valores, superando significativamente a L5502 (Tabla 2). Como se presentara anteriormente, EP144 es el cultivar varietal con mayor acumulación de biomasa. Sin embargo, este es el único componente de la biomasa total en que Olimar supera a EP144. L5502 por otra parte registra valores inferiores en todos los componentes respecto a la tradicional variedad.

La densidad de siembra, con el esperado incremento en la población de tallos, trae aparejado un incremento lineal en la biomasa de este componente en la canopia, sin registrarse una declinación en la tasa de incremento para el rango de poblaciones obtenidas (Tabla 3).

Durante el llenado de granos se registra un decremento en la biomasa acumulada en tallos (Tabla 4), en concordancia con el incremento de la materia seca en granos, reflejando la retranslocación de carbohidratos (Duy et al., 2004).

Las diferencias apreciadas entre las diferentes densidades de siembra y por ende entre poblaciones de tallos, se minimizan no siendo significativas en madurez fisiológica del cultivo. Esto indicaría una mayor removilización de reservas en las densidades mayores.

Tabla No. 30. Biomasa en tallos (kg/m²) según momento fenológico y densidad de siembra

Momento fenológico	Densidad		
	1	2	3
Floración	0,24 c	0,28 b	0,31 a
50% Madurez	0,24 c	0,24 c	0,24 c

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente (P= 0,0004)

4.4.5 Materia seca de panojas

La traslocación de biomasa en panojas fue similar en los cultivares de mayor rendimiento en este experimento. L5502, presentó Junto a EP144 los menores valores de biomasa en panojas (Tabla 2).

Con respecto al momento fenológico era de esperar que en madurez fuera superior la biomasa en panojas habiendo una diferencia muy significativa (Tabla 4).

Tabla No. 31. Biomasa de panojas (kg/m²) promedio para los diferentes cultivares según los diferentes niveles de nitrógeno

Nitrógeno	Cultivar				
	Avaxi	EP144	Inov	L5502	Olimar
1	0,88 abc	0,79 cd	0,96 a	0,75 d	0,87 abc
2	0,89 ab	0,80 bcd	0,72 d	0,77 d	0,80 bcd

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente (P= 0,0006)

Se puede observar que el único cultivar que presentó diferencia significativa es Inov, con menor nivel de N mayor biomasa de de panojas.

4.4.6 Evolución de la MS total y sus componentes

Para la discusión se tomó a El Paso 144 y Avaxi Juntos ya que presentan crecimiento similar.

Sin embargo cuando se compara Avaxi y El Paso se observan diferencias en cuanto a MS total en 50% Floración donde El Paso 144 acumula mayor MS total 15325 Kg MS/ha, con respecto a Avaxi 13572 Kg MS/ha. El componente que tiene mayor incidencia en esta diferencia es MS de vainas, donde El Paso 144 presenta un 25% mayor de MS de vainas en 50% Floración. Se aprecia una caída de la MS de vaina a partir de 50% Floración donde en El Paso 144 es mayor que en Avaxi (50% vs 41%). La máxima acumulación de MS total se alcanza en Madurez, donde Avaxi supera a El Paso 144 (23425 Kg MS/ha y 22820 Kg MS/ha respectivamente). La MS de panojas es el componente que está determinando la diferencia en MS total a madurez, donde Avaxi supera a El Paso 144 en un 14,5%. Esto está determinando el mayor rendimiento de Avaxi.

Figura No. 10. Evolución de la MS total y sus componentes para Avaxi

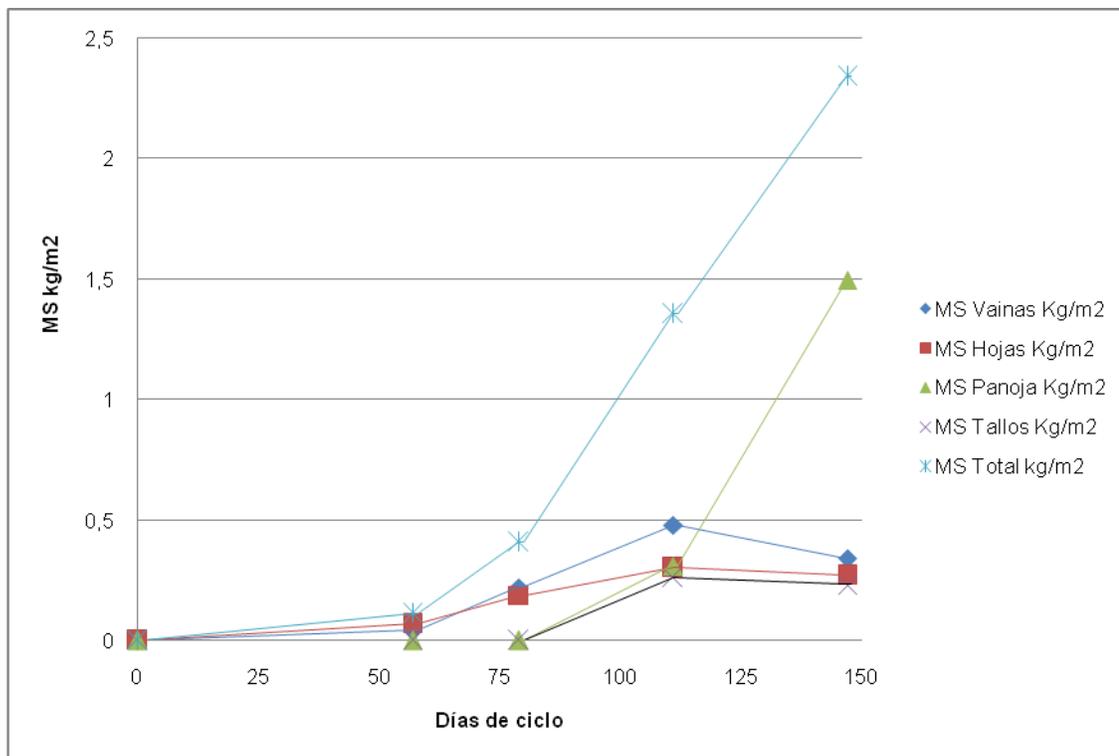
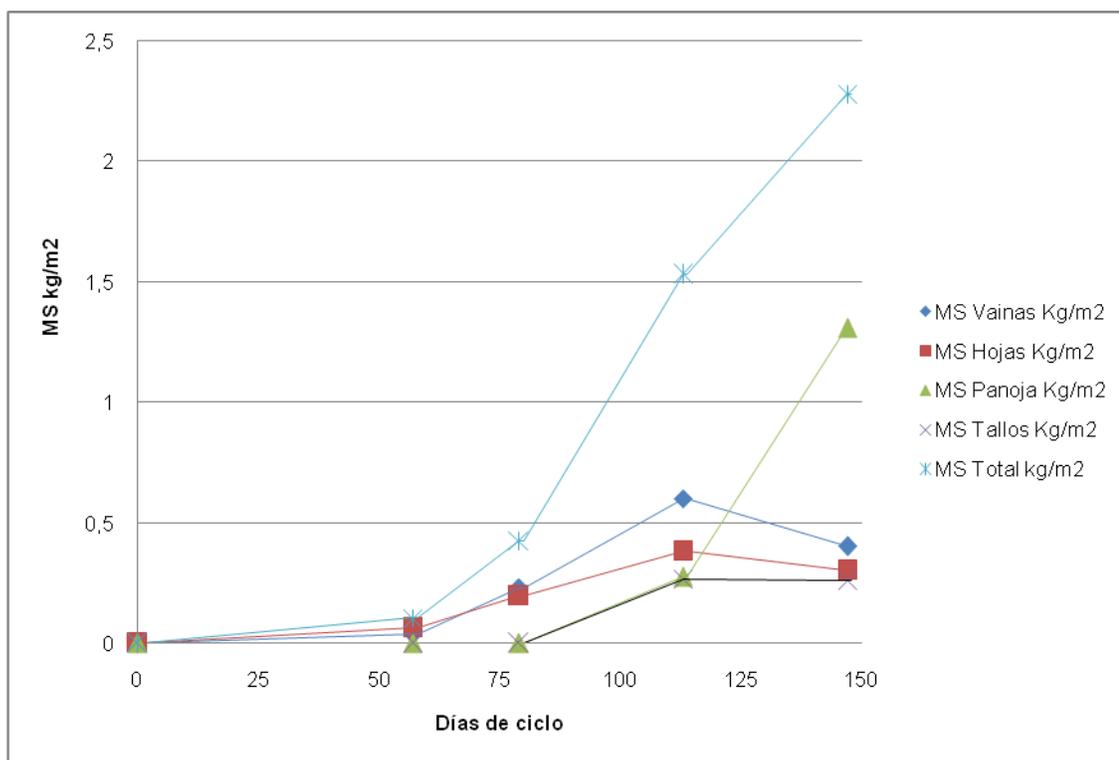


Figura No. 11. Evolución de la MS total y sus componentes para El Paso 144



A continuación se discutirá Olimar junto a Inov debido a que comparten germoplasma y presentan crecimiento similar. Partiendo de lo mencionado anteriormente donde Olimar es el “padre” de Inov, se observa en los gráficos que ambos presentan igual comportamiento durante el ciclo. Se aprecia que son mínimas las diferencias de MS total y sus componentes para los diferentes períodos.

Figura No. 12. Evolución de la MS total y sus componentes para Olimar

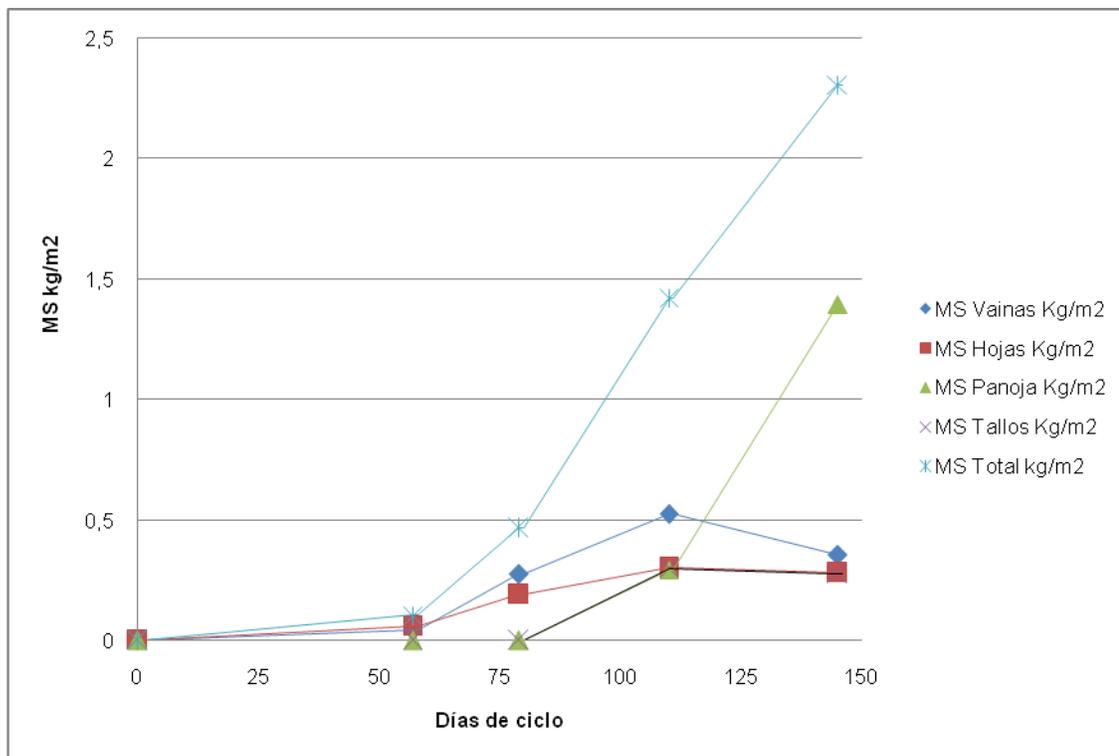
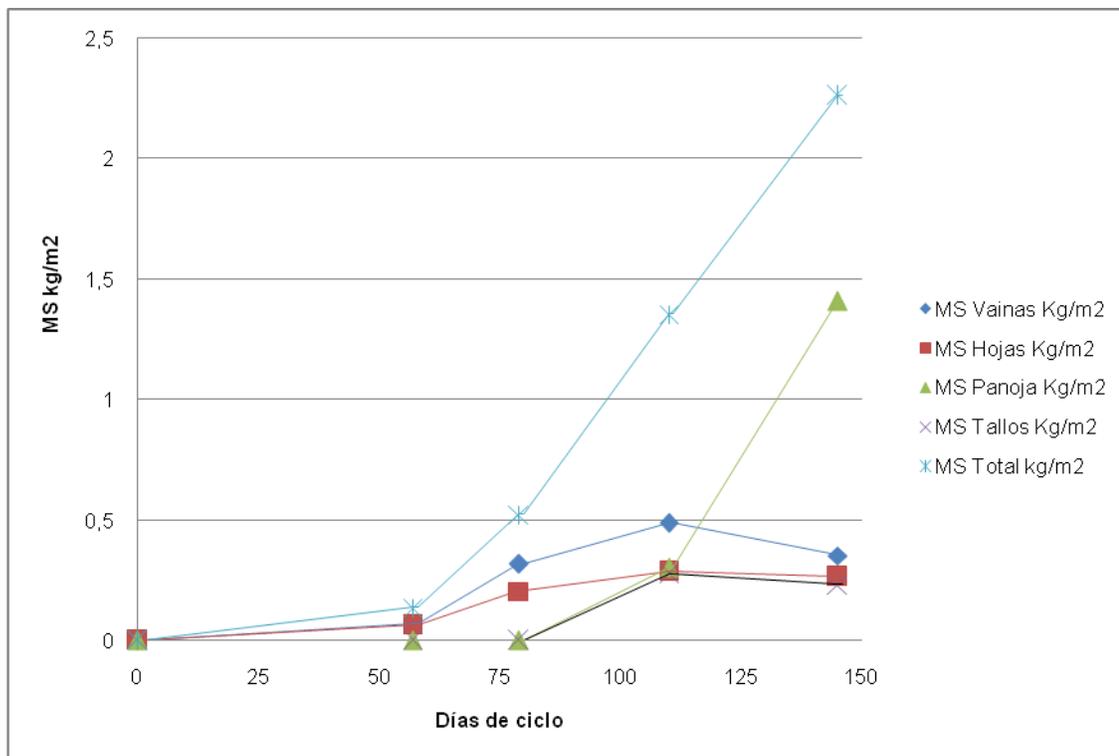
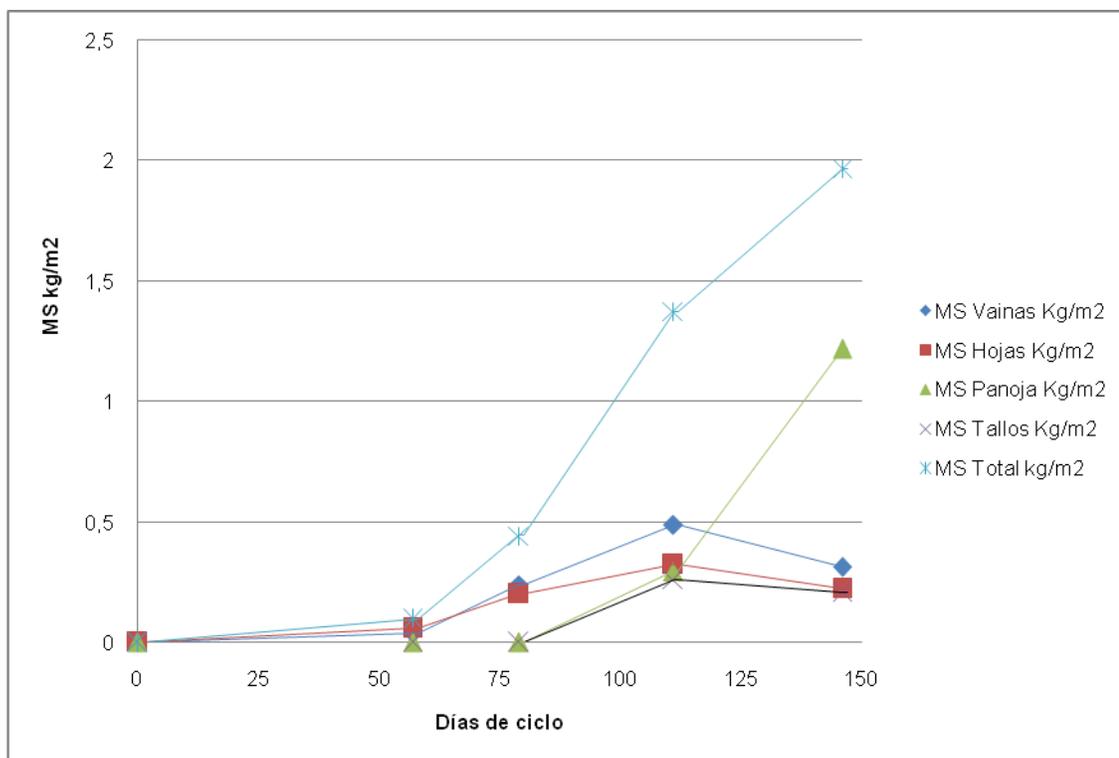


Figura No. 13. Evolución de la MS total y sus componentes para Inov



Como punto a destacar para L5502, presenta lento crecimiento inicial, recuperándose en los siguientes períodos. Es la que tiene menor acumulación de MS total 19684 kg MS/ ha, lo que es reflejado en el rendimiento.

Figura No. 14. Evolución de la MS total y sus componentes para L5502



4.5 TASA DE ÁREA FOLIAR (LAR)

En términos promedio Avaxi fue el cultivar con mayor desarrollo foliar respecto a la biomasa total acumulada (LAR, *leaf area ratio* en sus siglas en inglés). Como se aprecia en tabla 2, EP144 tuvo un valor intermedio a aquel y al grupo de cultivares restantes. En este, Inov, L5502 y Olimar presentan diferencias de menor entidad (Tabla 2).

Como se aprecia en tabla 4, el comportamiento general de esta variable para el conjunto de los cultivares, indica una progresión decreciente desde estadios vegetativos hasta madurez; indicando que el cultivo va haciendo una relativa menor alocación de su biomasa en hojas, adquiriendo más relevancia otros órganos durante el desarrollo fenológico.

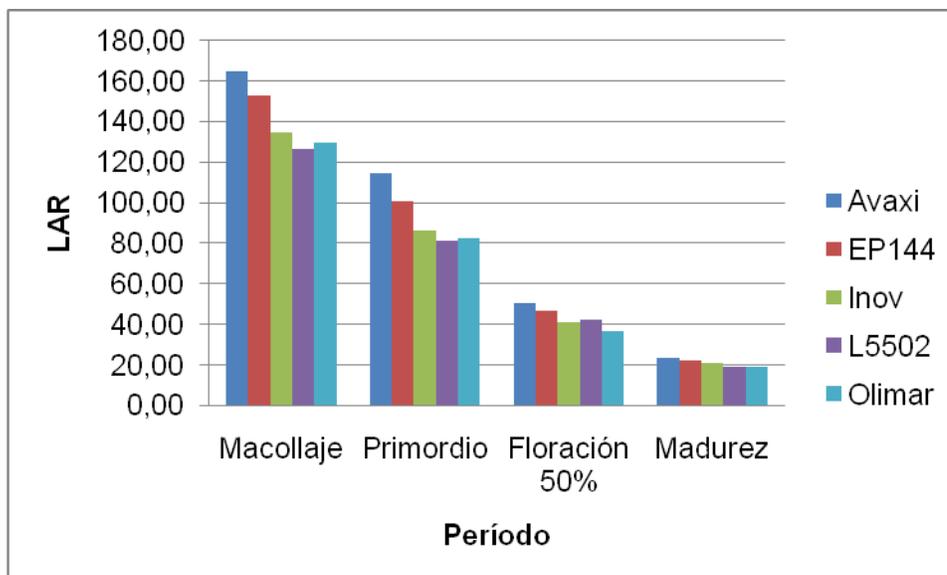
El comportamiento relativo de los cultivares sin embargo no es similar en todos los momentos de muestreo, obteniéndose una significativa interacción cultivar*momento fenológico. En la tabla 32 se aprecia que Avaxi es el cultivar de mayor valor, supera a EP144 en estadios vegetativo e inicio de reproductivo, pero presentan similares valores en floración y madurez. Los valores de EP144 así mismo no se diferencian de los restantes cultivares en floración. Esta característica es indicativa del mayor desarrollo foliar que presentaron estos cultivares. Ambos desarrollan IAF superiores, lo cual se basa en parte en mayor capacidad de crecimiento –acumulación de biomasa- pero también en base a un patrón de alocación de biomasa diferente. Por último para madurez no hay diferencias entre todos los cultivares.

Tabla No. 32. LAR según momentos fenológicos y cultivar

Momento fenológico	Cultivar				
	Avaxi	EP144	Inov	L5502	Olimar
Macollaje	164,90 a	152,88 b	134,73 c	126,75 d	129,66 cd
Primordio	114,24 e	100,62 f	86,52 g	81,20 g	82,64 g
Floración 50%	50,58 h	46,76 hi	40,78 ij	42,03 ij	36,44 j
Madurez	23,47 k	22,10 k	20,72 k	19,13 k	18,69 k

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente ($P < 0,0001$)

Figura No. 15. LAR según momentos fenológicos y cultivar



Las densidades de siembra modificaron significativamente LAR. De acuerdo a tabla 3 a densidades crecientes los cultivares tienden a disponer una mayor proporción de área foliar. Esto podría indicar una respuesta a la mayor competencia por radiación disponible, así como a tallos/vainas con menor acumulación de biomasa.

Sin embargo la interacción con momento fenológico indica que las diferencias son significativas solo en el caso de baja densidad y estadio vegetativo de macollaje.

Tabla No. 33. LAR según momentos fenológicos y densidad

Período	Densidad		
	1	2	3
Macollaje	134,14 b	142,79 a	148,42 a
Primordio	93,19 c	92,00 c	93,93 c
Floración 50%	42,50 d	44,43 d	43,02 d
Madurez	20,40 e	20,64 e	21,42 e

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente (P= 0,0112)

4.6 TASA DE PESO DE HOJAS (LWR)

La biomasa en hojas respecto a la biomasa total sobre el suelo (LWR leaf weight ratio en sus siglas en inglés) presentó a Avaxi y El Paso 144 con los valores superiores en el promedio de todo el ciclo. INIA Parao no difirió significativamente de El Paso 144 (Tabla 2).

De manera similar a LAR, la relación mencionada es superior en estadios vegetativos y se reduce significativamente en cada estadio subsiguiente y es mínimo a cosecha (Tabla 4).

Las diferencias entre cultivares según momento son de menor entidad, por ejemplo EP144 supera a Avaxi en floración, y finalmente en madurez no hay diferencias entre los cultivares.

Tabla No. 34. LWR según cultivar y momento fenológico

Momento fenológico	Cultivar				
	Avaxi	EP144	Inov	L5502	Olimar
Macollaje	0,62 a	0,63 a	0,57 b	0,61 a	0,57 b
Primordio	0,47 c	0,47 c	0,42 d	0,46 c	0,43 d
Floración	0,22 f	0,25 e	0,21 f	0,24 ef	0,21 f
50%					
Madurez	0,11 g	0,13 g	0,12 g	0,11 g	0,12 g

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente (P=0,0266)

4.7 ÁREA ESPECÍFICA DE HOJA (SLA)

El área específica de hojas varió significativamente entre cultivares, teniendo a Avaxi como el genotipo de mayor valor superando significativamente al resto de los cultivares. Los cultivares El Paso 144 e Inov tiene SLA intermedias. Como esperable el genotipo Japónica L5502 presenta un valor inferior indicativo de tipos de hojas más gruesas (mayor espesor) y por ende menor área por unidad de biomasa. INIA Olimar, sin embargo de tipo Indica resulta de hojas de peso específico similar a este cultivar, pero con arquitectura de hoja diferente dado por hojas más angostas (Tabla 2).

La densidad de siembra propició modificaciones en el desarrollo y alocación de la biomasa entre cultivares, probablemente al afectar el desarrollo de la canopia y por ende las relaciones de competencia por luz entre los individuos que la integran. De igual modo el N y el momento fenológico fueron factores que ocasionaron variaciones significativas en SLA.

En condiciones de mayor densidad en la canopia los cultivares presentaron mayor área de hoja por unidad de biomasa, probablemente en respuesta a mayor competencia por luz (Tabla 3). Cuando hay mayor nivel de nitrógeno es mayor área de hoja por unidad de biomasa, al igual que avanza el ciclo del cultivo (Tabla 4).

Tabla No. 35. SLA según los diferentes niveles de nitrógeno

Nitrógeno	SLA
2	203,23 a
1	199,46 b

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas difieren significativamente (P= 0,0067)

Según el ANAVA, el SLA de cultivares varió significativamente en distintos momentos fenológicos. De todos modos Avaxi fue el cultivar con mayor relación de área relativa a su biomasa en hojas en todo el ciclo de cultivo, seguidos por EP144 e Inov. La interacción significativa resulta del comportamiento relativo de L5502 y Olimar. Este último presenta valores mayores en etapas iniciales y posterior a floración sus valores resultan inferiores a los de L5502.

Tabla No. 36. SLA según cultivar y momentos fenológicos

Momento fenológico	Cultivar				
	Avaxi	EP144	Inov	L5502	Olimar
Macollaje	263,7 a	241,2 b	236,2 b	207,1 de	226,2 c
Primordio	241,1 b	215,8 d	204,2 d	174,9 gh	190,9 f
Floración 50%	226,6 c	186,8 f	192,8 f	177,8 g	170,3 gh
Madurez	204,9 e	166,2 h	177,8 g	167,5 h	156,1 i

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente ($P < 0,0001$)

El efecto del tratamiento de dosis de nitrógeno afectó la evolución del SLA de modo diferencial según el momento fenológico. De acuerdo a la tabla 37, las diferencias son significativas en el último muestreo (madurez fisiológica), momento en el que el tratamiento con mayor oferta de N, promueve un mantenimiento del área foliar y por ende sostiene un valor mayor de SLA.

Tabla No. 37. SLA según dosis de nitrógeno y momentos fenológicos

Momento fenológico	Nitrógeno	
	1	2
Macollaje	233,3 a	236,4 a
Primordio	206,2 b	204,6 b
Floración 50%	188,6 c	193,2 c
Madurez	169,6 e	179,4 d

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente ($P = 0,0465$)

4.8 TASA DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO (TCC g/m²/dia)

La tasa de crecimiento de cultivo fue afectada por el período evaluado. Las mayores tasas se obtienen en períodos reproductivos y de llenado de granos, asociados a una plena intercepción de la radiación por las canopias de los cultivares. Las tasas iniciales (emergencia-macollaje) podrían estar limitadas por menores temperaturas.

Tabla No. 38. TCC g/m²/dia promedio para todo el ciclo para los diferentes períodos

Período	TCC g/m ² /dia
Emer-Maco	25,58 a
Maco-Pri	15,51 b
Pri-Flo 50%	2,24 c
Flo 50%-Madu	26,78 a

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas difieren significativamente (P< 0,0001)
Coeficiente de variación=41,2%

La tasa de crecimiento de los cultivares varió significativamente según el nivel de dosis de nitrógeno; en particular Inov, reduce su tasa de crecimiento diario en condiciones de mayor oferta de N.

Tabla No. 39. TCC g/m²/dia según cultivar y niveles de nitrógeno

Nitrógeno	Cultivar				
	Avaxi	EP144	Inov	L5502	Olimar
1	15,7 c	18,7 ab	20,2 a	16,2 bc	18,8 ab
2	17,8 abc	18,3 abc	16,0 bc	16,3 bc	17,4 abc

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente (P=0,0480)

Tabla No. 40. TCC g/m²/día según momentos fenológicos y los niveles de nitrógeno

Nitrógeno	Período			
	Emergencia Macollaje	Mac- Primordio	Prim- Floración 50%	50Florac- Madurez
1	2,23 d	14,59 c	27,19 a	27,79 a
2	2,24 d	16,40 c	23,96 b	26 ab

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente (P=0,0431)

La dosis mayor de N (tratamiento 2, 105 Kg. total ha⁻¹) implicó una aplicación de 46 Kg de N ha⁻¹ en primordio; y redujo significativamente la TCC en el periodo primordio-floración.

4.9 TASA DE CRECIMIENTO DE CULTIVO RELATIVA

Tabla No. 41. TCC relativa g/m²/día para las diferentes densidades

Densidad	TCC relativa g/m ² /día
1	0,056 a
2	0,047 b
3	0,043 c

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas difieren significativamente (P< 0,0001)

En condiciones de baja densidad es mayor la TCC relativa; debido que hay baja biomasa/há representando el crecimiento del cultivo una mayor proporción de esta biomasa inicial.

Tabla No. 42. TCC relativa g/m²/día para los diferentes momentos fenológicos

Período	TCC relativa g/m²/día
Maco-Pri	0,075 a
Emer-Maco	0,071 b
Pri-Flo 50%	0,034 c
Flo 50%-Madu	0,016 d

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas difieren significativamente (P=< 0,0001)

Como esperado las mayores tasas de crecimiento relativo se obtienen en estadios más iniciales del cultivo. La importante cantidad de biomasa acumulada en estadios reproductivos y de llenado de granos se realiza sobre un crecimiento previo significativo, por lo cual los incrementos son menores al progresar el ciclo de cultivo. De igual modo, el efecto de la densidad en la acumulación de biomasa resultó dependiente del momento fenológico.

Como se aprecia en la tabla 43 la tasa de crecimiento de cultivo relativa varió significativamente entre densidades en estadios tempranos; al avanzar el ciclo de cultivo, lográndose una total cobertura (IAF en primordio=3.7 en densidad 1 a 4.3 en densidad 3) las diferencias se minimizan o son no significativas durante el llenado de granos.

Tabla No. 43. TCC relativa g/m²/día según periodo y densidad

Período	Densidad		
	1	2	3
Emergencia-Macollaje	0,085 a	0,069 b	0,060 c
Macollaje-Primordio	0,086 a	0,070 b	0,068 c
Primordio-Floración 50%	0,037 d	0,034 de	0,031 e
Floración-Madurez	0,017 f	0,015 f	0,016 f

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente (P=< 0,0001)

4.10 TASA DE ASIMILACIÓN NETA (TAN g/m²/día)

La tasa de asimilación neta es la tasa de incremento de biomasa de la planta entera por unidad de área foliar (Leopold y Kriedemann, 1975). Este parámetro expresa la capacidad de la planta para acumular biomasa en función de su área fotosintética y representa la eficiencia fotosintética en un sentido global. De este modo indica las ganancias resultantes de la fotosíntesis y las pérdidas respiratorias. Como se aprecia en Tabla 2, los cultivares INIA Olimar e INIA Parao (L5502) son los de mayor eficiencia, mientras que El Paso 144 y Avaxi, los de menor eficiencia.

La densidad de siembra de igual modo generó diferencias significativas en la TAN de los cultivares, indicando que la mayor eficiencia en el proceso de fotosíntesis se obtuvo en condiciones de canopias más abiertas (Tabla 3). Las mayores densidades seguramente incrementan los costos en respiración de la canopia y por ende se registra una reducción en la tasa. En el mismo sentido se interpretan los resultados obtenidos por la fertilización nitrogenada –a mayor incremento en la biomasa resultante del nivel 2, menor eficiencia fotosintética global-.

Tabla No. 44. TAN g/m²/día para las diferentes niveles de nitrógeno

Nitrógeno	TAN g/m²/día
1	8,09 a
2	7,64 b

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas difieren significativamente (P=0,0273)

Durante el ciclo de cultivo la TAN se reduce significativamente como resultante del sombreado interno en la canopia y envejecimiento de hojas que incrementan la tasa de respiración (Tabla 4).

4.11 RENDIMIENTO FÍSICO

En un año agrícola de alta productividad, el rendimiento varió significativamente entre cultivares, en un ensayo de baja variabilidad (CV=8.27%). Los cultivares híbridos rindieron más que las variedades; así mismo entre estas las diferencias fueron significativas (Tabla 5).

La respuesta a N fue significativa, resultando negativa al agregado incremental. Es de considerar que el ensayo fue protegido de modo preventivo, por lo cual las diferencias en N agregado no incidió en la aparición de enfermedades a hongos.

Tabla No. 45. Rendimiento Kg/ha según los diferentes niveles de nitrógeno

Nitrógeno	Rendimiento Kg/ha
1	12735 a
2	12329 b

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas difieren significativamente (P= 0,0348)

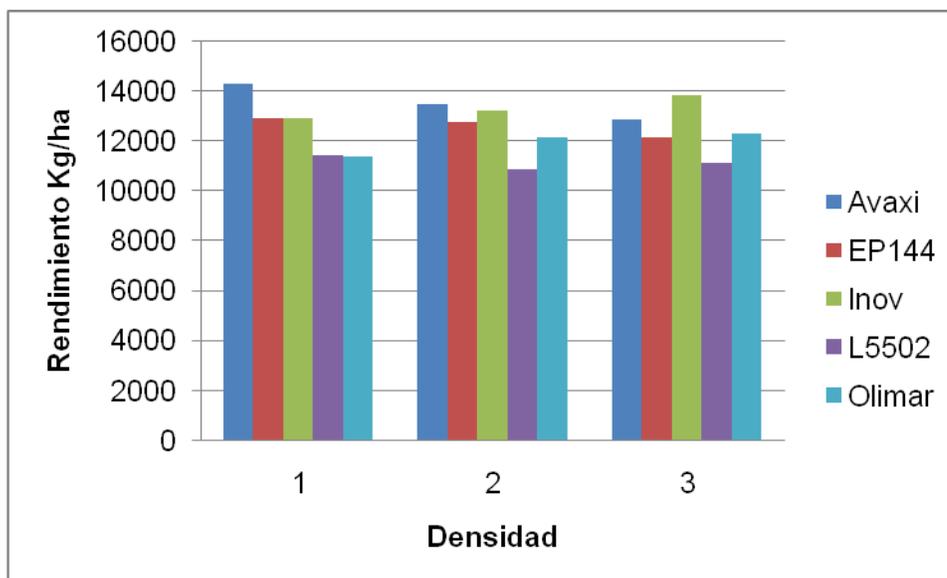
La densidad de siembra no afectó los rendimientos; sin embargo se obtuvo una interacción significativa con los cultivares considerados. Según se aprecia en tabla 46, cultivares como INIA Olimar, Inov y en menor medida INIA Parao L5502 presentaron una tendencia a mantener o incrementar levemente los rendimientos ante incrementos en la densidad de siembra. Los restantes cultivares de mayor desarrollo foliar (IAF, macollamiento, biomasa) –El Paso 144 y Avaxi- presentan su mayor productividad en la menor densidad de siembra.

Tabla No. 46. Rendimiento Kg/ha según densidad y cultivar

Densidad	Cultivar				
	Avaxi	EP144	Inov	L5502	Olimar
1	14332 a	12935 bcde	12927 bcde	11451 fgh	11392 fgh
2	13471 abc	12784 cde	13239 bcd	10905 h	12189 ef
3	12868 bcd	12174 efg	13876 ab	11143 gh	12295 def

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente (P= 0,0282)

Figura No. 16. Rendimiento Kg/ha según densidad y cultivar



4.12 NÚMEROS DE PANOJAS POR METRO CUADRADO

Para el factor cultivar se puede apreciar que Avaxi, siendo un material muy macallador es el que presenta mayor números de panojas por metro cuadrado. No se observa diferencias entre El Paso 144 e INIA Olimar con valores intermedios. Por su parte Inov e INIA Parao son los de menor valor no diferenciándose entre ellos (Tabla 5).

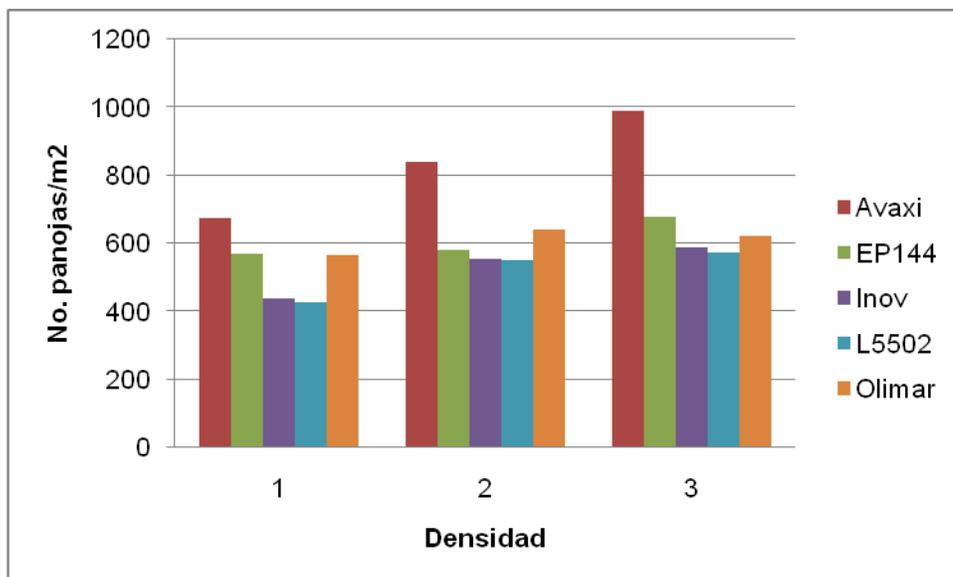
En cuanto al factor densidad se observa diferencias significativas, cuanto más alta la densidad mayor el número de panojas por metro cuadrado (Tabla 6). Para el factor nitrógeno no se observaron diferencias significativas.

Tabla No. 47. Números de panojas/m² según densidad y cultivar

Densidad	Cultivar				
	Avaxi	EP144	Inov	L5502	Olimar
1	675 cd	571 de	438 f	427 f	567 e
2	839 b	580 cde	554 e	553 e	643 cde
3	990 a	680 c	587 cde	575 de	623 cde

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente (P= 0,0467)

Figura No. 17. Números de panojas/m² según densidad y cultivar



La interacción densidad y cultivar presentó diferencia significativa, para Avaxi se observa que se diferencian las densidades, donde la alta presenta mayor número de panojas/m². Inov e INIA Parao tienen un comportamiento similar donde las densidades 2 y 3 se diferencian de la más baja; por su parte El Paso 144 ocurre lo contrario. Para INIA Olimar no se presentan diferencias entre densidades.

Tabla No. 48. Números de panojas/m² según nivel de nitrógeno y cultivar

Nitrógeno	Cultivar				
	Avaxi	EP144	Inov	L5502	Olimar
1	794 a	604 b	589 b	493 c	599 b
2	875 a	617 b	463 c	543 bc	622 b

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente (P= 0,0121)

Se aprecia que para la interacción nivel de nitrógeno y cultivar, Inov es el único que presenta diferencia siendo esta depresiva, a mayor nivel se reduce el número de panojas por metro cuadrado.

4.13 NÚMERO DE GRANOS TOTALES/PANOJAS

El número de granos por panoja es indicativo del tamaño potencial de la fosa, y responde a efectos genéticos así como culturales. En este sentido los cultivares presentaron diferencias significativas, siendo los híbridos los valores extremos (Tabla 5).

Por otra parte, resulta significativa la variación debido a la densidad de siembra y como esperado, en canopias más densas el tamaño de la fosa se reduce (Tabla 6), como resultado de un componente dependiente de la densidad. Como se presentara los rendimientos no variaron con las distintas poblaciones de siembra, aunque sí lo hiciera el tamaño potencial de la panoja, indicativo de la plasticidad de la conformación del rendimiento.

El agregado adicional de N también redujo el número de granos por panoja, seguramente como consecuencia de un incremento importante en el macollamiento, lo que incrementa la competencia intra-canopia. El agregado en inicio de primordio no habría sido suficiente para compensar dicho proceso competitivo. Sin embargo, dicho efecto fue dependiente de la densidad de la canopia; en condiciones de alta densidad, el agregado de N promovió panojas con mayor desarrollo.

Tabla No. 49. Números de granos totales/panojas para los diferentes niveles de nitrógeno

Nitrógeno	No. de granos totales/panojas
1	118,24 a
2	110,65 b

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas difieren significativamente (P=0,0005)

4.14 NÚMERO DE GRANOS TOTALES/M2

Cuando se conjuga el número de tallos y tamaño de panojas se alcanza el tamaño potencial de fosa expresado en relación a la superficie de suelo, lo cual es muy relevante en términos productivos, ya que esta altamente correlacionado con el rendimiento físico.

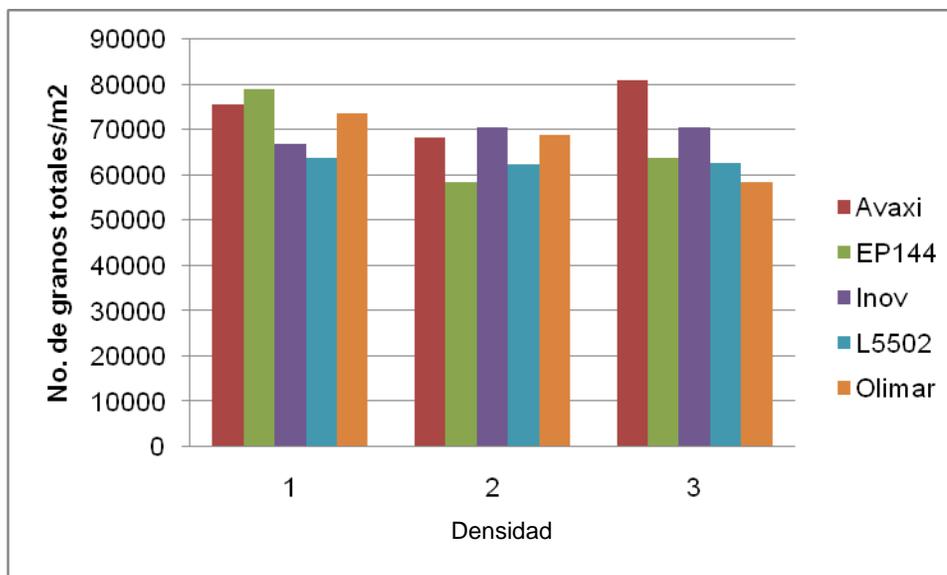
En este sentido se destaca Avaxi como el cultivar que desarrolla mayor capacidad de rendimiento. Inov se encuentra en nivel intermedio, no diferente de las variedades (Tabla 6). Estas alcanzan fosas que concuerdan con sus rendimientos, según discutido previamente.

El efecto de la densidad en la fosa potencial de los cultivares se presenta en la tabla siguiente. Avaxi incrementa sostenidamente esta variable al incrementar la densidad de siembra, mientras que Olimar tiene menores valores. Inov y L5502 tienen una mayor estabilidad, indicando una mayor compensación entre el desarrollo de macollamiento y el tamaño de panoja definido.

Tabla No. 50. Números de granos totales/m2 según densidad y cultivar

Densidad	Cultivar				
	Avaxi	EP144	Inov	L5502	Olimar
1	75564 abc	79166 ab	66880 bcde	63863,05 cde	73601 abcd
2	68223 abcd	58560,90 e	70540 abcde	62542,80 de	68978 abcde
3	80975 a	63961 cde	70699 abcde	62626 cde	58560 e

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente (P= 0,0541)

Figura No. 18. Número de granos totales/m² según densidad y cultivarTabla No. 51. Número de granos totales/m² según nitrógeno y cultivar

Nitrógeno	Cultivar				
	Avaxi	EP144	Inov	L5502	Olimar
1	74777 ab	66907 bc	80390 a	61449 c	67346 bc
2	75064 ab	67551 bc	58357 c	64571 bc	66747 bc

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente (P= 0,007)

Para esta interacción solamente en Inov se ve diferencia, donde con el agregado de nitrógeno se reduce el número de granos/m².

4.15 PESO MIL GRANOS

El peso de mil granos (P1000) varió significativamente entre cultivares; como es típico este componente es menos afectado por el ambiente por lo cual las diferencias varietales son de mayor estabilidad a través de los distintos experimentos y años (Tabla 5).

Sin embargo la densidad de siembra generó variaciones significativa, debido a granos más livianos en la densidad baja (Tabla 6); en esta situación se dio el desarrollo de panojas de mayor tamaño, por lo cual el presente resultado podría deberse a procesos compensatorios, indicativos de un suministro limitado de carbohidratos para el completo llenado de los granos afectando directamente su peso.

4.16 % ESTERILIDAD

El porcentaje de esterilidad de granos fue en general bajo en el experimento y estaría asociado a la alta productividad descrita para el año. Aun en un nivel bajo -los cultivares tuvieron diferencias significativas-. De modo destacado Avaxi, presenta el menor valor junto a INIA Parao L5502 (Tabla 5). La ocurrencia de este vaneamiento no se asocia en las condiciones de este ensayo a incidencia de bajas temperaturas, si no probablemente a la producción, translocación y acumulación efectiva de carbohidratos producto de la fotosíntesis en un año de alta radiación.

4.17 ÍNDICE DE COSECHA

El IC es la relación entre el rendimiento de grano con el rendimiento biológico (Donald y Hamblin, 1976). Lo claro es que los cultivares más nuevos tienen los valores más altos y superan al de El Paso 144 (con la excepción de INIA Olimar), lo que demuestra que es un factor a tener en cuenta para mejorar la productividad (Tabla 5).

Tabla No. 52. Índice de cosecha según cultivar y niveles de nitrógeno

Nitrógeno	Cultivar				
	Avaxi	EP144	Inov	L5502	Olimar
1	0,62 a	0,49 c	0,52 bc	0,59 ab	0,53 bc
2	0,52 bc	0,51 bc	0,64 a	0,59 ab	0,54 bc

Nota: Valores con letras diferentes entre las filas y columnas difieren significativamente (P= 0,0092)

A partir de la tabla se aprecia que para esta interacción hay diferencias significativas en los materiales híbridos, donde se comportan de manera opuesta.; en Avaxi presenta respuesta negativa frente al agregado de nitrógeno, por su parte Inov una respuesta positiva.

4.18 CLUSTER ANALISIS

Tabla No. 53. Cluster para macollaje, primordio, 50% floración de las variables IAF, Altura cm, No. de tallos/m², MS Total kg/m², con k=2

Variables de crecimiento	Cluster		Significancia
	Grupo A	Grupo B	
Maco-IAF	2,06 a	1,24 b	P< 0,0001
Maco-Altura cm	32,76 b	33,96 a	P=0,0056
Maco-No Tallos/m ²	1278 a	769 b	P< 0,0001
Maco-MS Total kg/m ²	0,109 a	0,077 b	P< 0,0001
Primordio-IAF	4,56 a	3,76 b	P< 0,0001
Primordio-Altura cm	57,89 b	60,32 a	P=0,0314
Primordio-No Tallos/m ²	925 a	697 b	P< 0,0001
Primordio-MS Total kg/m ²	0,48 a	0,43 a	P=0,1077
50% Flor-IAF	7,15 a	5,72 b	P< 0,0001
50% Flor-Altura cm	87,54 a	87,99 a	P=0,6519
50% Flor-No Tallos/m ²	760 a	557 b	P< 0,0001
50% Flor-MS Total kg/m ²	1,35 a	1,21 b	P< 0,0001
Componentes de rendimiento			
Peso de mil granos gr	26,9 a	27,2 a	P= 0,0682
No. de panojas/m ²	744 a	579 b	P< 0,0001
% Esterilidad	9,7 a	10,1 a	P= 0,5636
No. de granos totales/panoja	95 b	122 a	P< 0,0001
Indice de cosecha	0,61 a	0,56 b	P= 0,0071
TCC 50% Flor-Mad kg/ha	250 b	302 a	P=0,0115
Rendimiento kg/ha	13075 a	12141 b	P=0,0009

Nota: Valores con letras diferentes entre las columnas difieren significativamente (P= 0,0282)

Se realizó un análisis cluster con el total de los casos del experimento. Se consideró un “caso” a la combinación de todos los factores experimentales (cultivar*densidad de siembra*nivel de nitrógeno) y repeticiones. El objetivo del análisis fue el de agrupar los mismos considerando un conjunto de variables relevantes en la descripción de la curva de crecimiento. Las variables consideradas fueron IAF, altura, No. de tallos/m² y MS Total, en tres etapas del cultivo, macollaje, primordio y 50% floración. En un análisis preliminar se definió la conformación de tres grupos; en ese caso el tercer grupo estaba formado por solo 8 casos. De estos casos, 7 pertenecían a uno de los grupos predecesores, por lo cual la mayoría de las variables presentaban valores no diferentes al grupo de origen (datos no mostrados), por lo cual se tomó la decisión de la formación de dos cluster finales al ser más informativos. De esta manera, se obtuvieron finalmente dos grupos (Tabla 53). Como se aprecia, el grupo A presenta mayor valor que el B para las variables IAF y No. de tallos/m² en los tres estadios; en los estadios iniciales (macollaje) y primordio el grupo B presenta mayor altura de plantas, pero en 50% floración no hay diferencias entre grupos. Para la variable MS Total en las etapas de macollaje y 50 % floración el grupo A presenta mayor valor que el B, pero para primordio no hay diferencias entre grupos. De modo general el grupo “A” se caracteriza entonces por parámetros de mayor crecimiento (IAF, Biomasa, macollamiento) y menor altura que el grupo “B”.

Por otra parte, los componentes del rendimiento variaron significativamente entre los grupos conformados según parámetros de crecimiento en el cluster análisis. En este sentido, los casos que integraron el grupo “B” presentaron en promedio panojas de mayor número de granos (fosa mayor); por otra parte el grupo “A” presentó un mayor número de panojas por superficie, parámetros indicativos de procesos compensatorios entre estos componentes como se discutiera previamente. En peso de mil granos y % de esterilidad no hay diferencias entre grupos. El grupo “A” presenta mayor índice de cosecha, mientras que en la variable TCC 50% Flor-Mad el grupo “B” presenta el mayor valor.

Finalmente el ANAVA realizado agrupando el conjunto de los casos como “A” o “B” detecta que ambos grupos diferían significativamente en el rendimiento alcanzado, permitiendo asociar un mayor potencial de rendimiento a la expresión de las características vegetativas mencionadas (mayor IAF, acumulación de biomasa, macollamiento), en estadios reproductivos (IAF, macollamiento, crecimiento pos-antesis e índice de cosecha).

Los cultivares integraron cluster “A” y “B” diferencialmente. Así en el grupo A –de mayor potencial- se registraron la mayoría de casos de Avaxi, un tercio de casos de EP144, un cuarto de los casos de Inov y un quinto de los de Olimar (Tabla 54). Estos resultados serían indicativos de la probabilidad de alcanzar altos rendimientos con esos genotipos considerando la combinación de factores experimentales utilizados en este estudio.

Tabla No. 54. Porcentaje (%) de casos para cada cultivar según tipo de crecimiento

Cultivar	Grupo A	Grupo B
El Paso 144	37,5	62,5
INIA Olimar	21,74	78,3
Avaxi CL	80	20
Inov CL	25	75
INIA Parao L5502	8,3	91,7

Figura No. 19. Porcentaje (%) de casos para cada cultivar según tipo de crecimiento

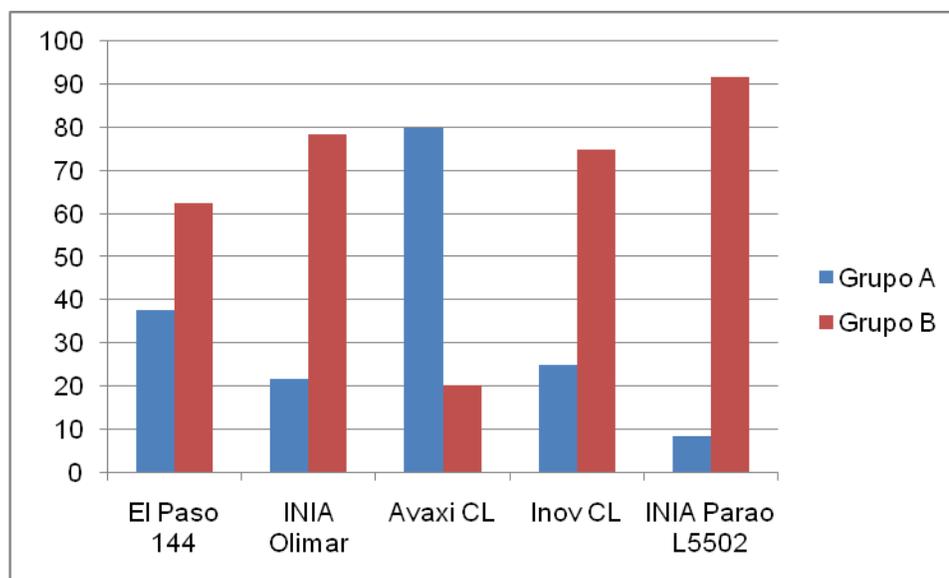
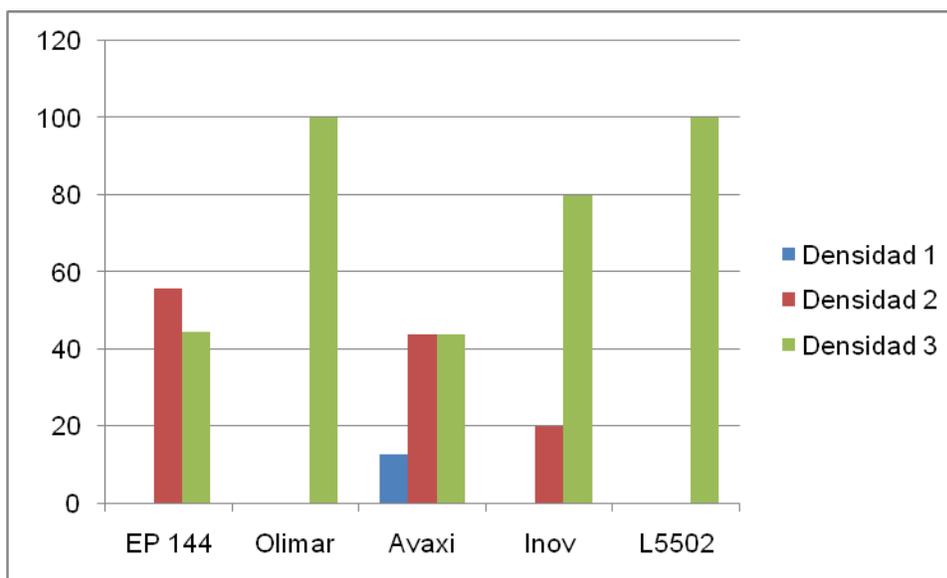


Tabla No. 55. Porcentaje (%) de casos del grupo A para cada cultivar según densidad

Grupo A	Densidad 1	Densidad 2	Densidad 3
EP 144	0	55,6	44,4
Olimar	0	0	100
Avaxi	12,5	43,75	43,75
Inov	0	20	80
L5502	0	0	100

Figura No. 20. Porcentaje (%) de casos del grupo A para cada cultivar según densidad



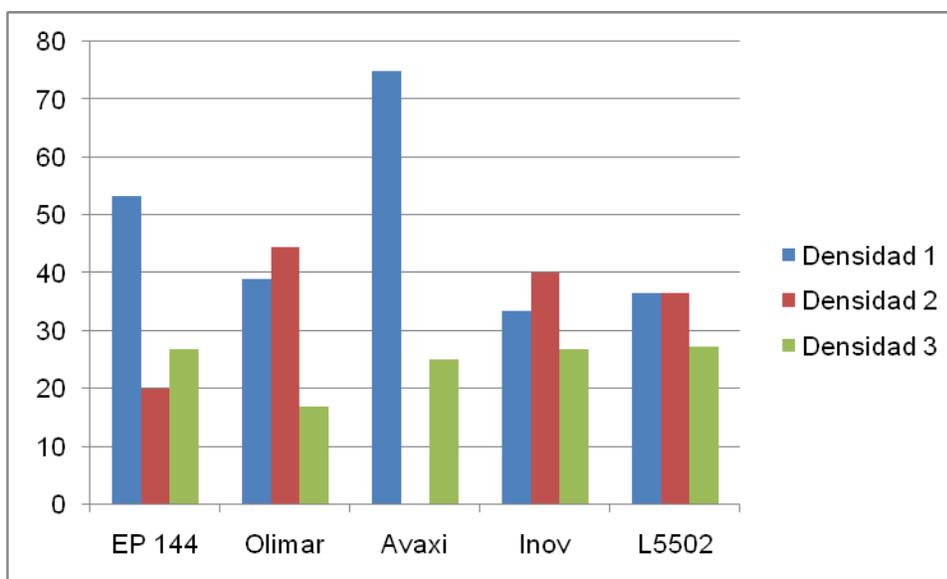
Los mayores rendimientos que conforman el grupo “A” se obtienen con L5502 y Olimar, únicamente manejando altas densidades de siembra (Tabla 55). Inov presenta una tendencia similar según se aprecia. Por otra parte, Avaxi es el cultivar que presenta mayor plasticidad en la expresión de altos rendimientos, obteniéndolos en todas las densidades. En particular, es el único genotipo que presenta casos de alto potencial en la densidad baja. En este cultivar, los casos que se asignaron al grupo “B” –de menor potencial- se correspondieron en su mayoría a bajas densidades.

El cultivar EP144, presentó similitudes con Avaxi en este sentido; los casos de alto rendimiento se dan en densidades media y alta y un grupo importante (más de 50%) de los casos de menor rendimiento (grupo "B") se asociaron a la densidad menor.

Tabla No. 56. Porcentaje (%) de casos en el grupo B para cada cultivar según densidad

Grupo B	Densidad 1	Densidad 2	Densidad 3
EP 144	53,3	20	26,7
Olimar	38,9	44,4	16,7
Avaxi	75	0	25
Inov	33,3	40	26,7
L5502	36,4	36,4	27,2

Figura No. 21. Porcentaje (%) de casos en el grupo B para cada cultivar según densidad



En el grupo B las variedades Olimar, Inov y L5502 presentan una distribución equilibrada entre las densidades.

Los casos que se correspondían a alta densidad de siembra (densidad 3) integraron en partes similares los grupos “A” y “B”, mientras que en densidad 1 es minoritaria (1.8%) la obtención de altos rendimientos.

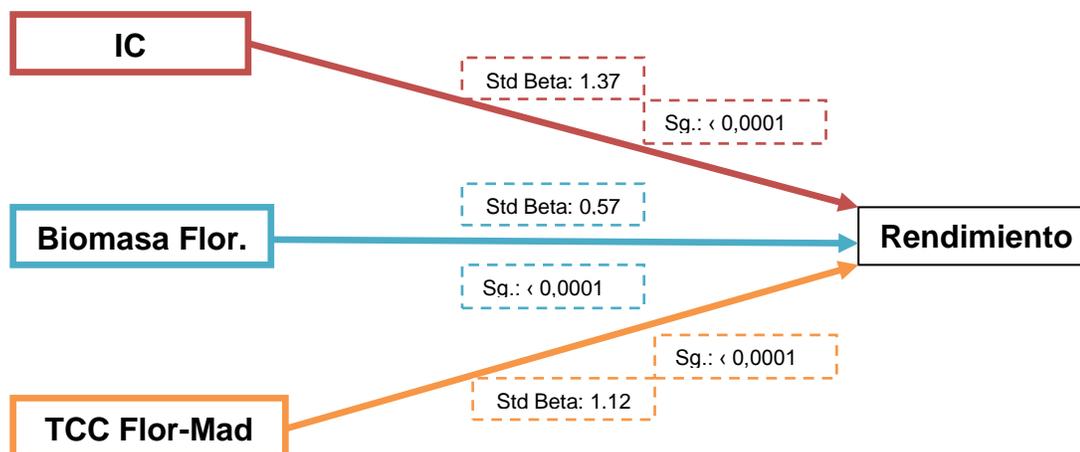
Tabla No. 57. Porcentaje (%) de casos de los grupos A y B para cada cultivar según densidad

	Densidad 1	Densidad 2	Densidad 3
Grupo A	1,8	11,7	19,9
Grupo B	27,9	22,5	16,2

4.19 FORMACIÓN DEL RENDIMIENTO

La construcción del rendimiento en estos grupos fue diferente según se aprecia en la tabla 53. Considerando un modelo en que el rendimiento es basado en la biomasa acumulada a Floración, la tasa de crecimiento de cultivo durante el llenado de granos y el índice de cosecha (IC) –como estimador de la arquitectura de planta- se obtuvieron diferencias entre grupos en la importancia relativa de estos componentes. Cabe destacar que la variable IAF no se la considero ya que no tenía relevancia, si la tuvo la biomasa acumulada en Floración en la formación del rendimiento. En el grupo A, las variaciones en el rendimiento se asociaron en mayor medida al IC y en segundo orden a la tasa de crecimiento durante llenado de granos. Como se discutiera, estos casos presentaron alta acumulación de biomasa, mayor número de tallos por m², e IAF en cuya situación el crecimiento a Floración se relacionó de manera directa pero con menor intensidad al rendimiento (coeficiente path $p=0.57^{**}$). En este tipo de cultivares y manejos con mayor desarrollo vegetativo resulta de mayor importancia la arquitectura de planta que asegure maximizar el IC.

Esquema No. 3. Modelo para el Grupo A



R2 : 0,97 (P< 0,0001)

Tabla No. 58. Correlaciones entre rendimiento y sus componentes en casos del grupo A

Variables	Correlación r	Significancia
Rendimiento-IC	0,636	< 0,0001 *
Rendimiento-Biomasa Flor.	-0,096	0,5694
Rendimiento-TCC Flor-Mad.	0,135	0,4234
IC-Biomasa Flor.	-0,186	0,2686
IC-TCC Flor-Mad.	-0,563	0,0003 *
Biomasa Flor.-TCC Flor-Mad.	-0,368	0,0149 *

En grupo "B", caracterizado anteriormente por valores inferiores en parámetros de crecimiento vegetativo, la variable TCC Flor-Mad es la que tiene mayor impacto en el rendimiento (coeficiente path $p=1.45^{**}$), seguido por IC (coeficiente path $p=1.25^{**}$). El crecimiento vegetativo en floración fue de menor cuantía, aunque significativo. Estos resultados indican que los tres componentes contribuyen directamente al rendimiento, resultando en un modelo muy significativo ($R^2=0.94^{**}$).

Esquema No. 4. Modelo de formación de rendimiento para el Grupo B

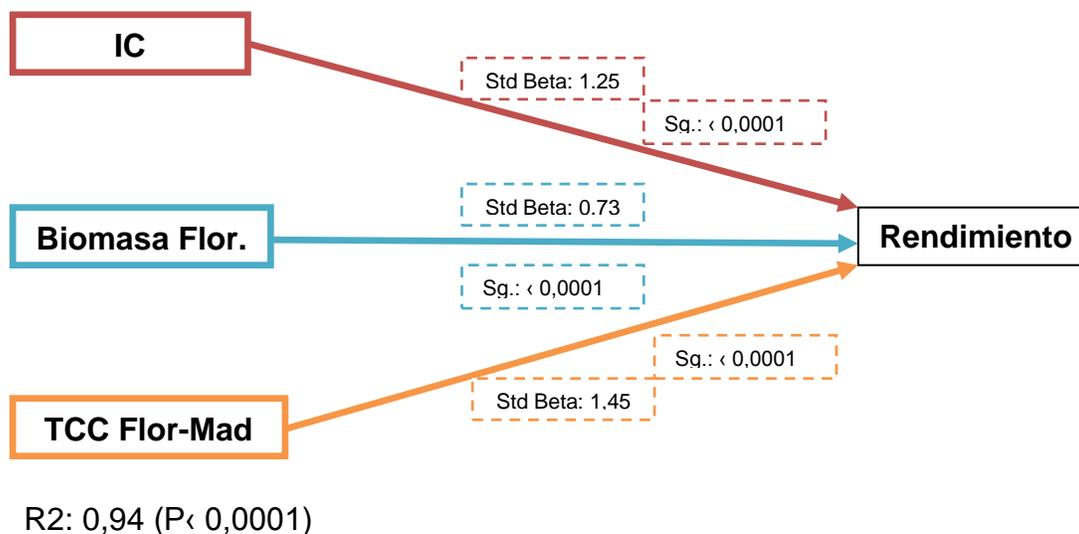


Tabla No. 59. Correlaciones entre rendimiento y sus componentes en casos del grupo B

Variables	Correlación r	Significancia
Rendimiento-IC	0,339	0,0031 *
Rendimiento-Biomasa Flor.	0,099	0,3989
Rendimiento-TCC Flor-Mad.	0,304	0,0083 *
IC-Biomasa Flor.	0,040	0,7335
IC-TCC Flor-Mad.	-0,644	< 0,0001 *
Biomasa Flor.-TCC Flor-Mad.	-0,471	< 0,0001 *

Las correlaciones entre rendimiento y sus componentes fueron similares en ambos grupos. Rendimiento se asoció positivamente con IC, siendo mayor el coeficiente en el grupo A. Por otra parte, los componentes se correlacionaron negativamente entre sí (por ej. IC y TCC, o Biomasa y TCC), indicando la compensación entre ellos y la imposibilidad práctica de aumentar el rendimiento basado en el simple incremento de alguno de sus componentes, debido a que implicaría el ajuste detrimental en otro. De modo diferencial entre ambos grupos, el rendimiento se asoció significativamente con la tasa de crecimiento de cultivo en el grupo B –de menor acumulación de biomasa a floración-, mientras que en el grupo A esta correlación no fue significativa. La correlación de rendimiento e IC se observa que a mayor IC mayor rendimiento, es de mayor magnitud que en el grupo B, se ve reflejado la relevancia del IC en el modelo

planteado. Por último para IC-TCC Flor-Mad a mayor TCC menor es el índice de cosecha, la de biomasa Flor-TCC Flor-Mad a mayor biomasa menor TCC.

5 CONCLUSIONES

Avaxi y El Paso 144 son materiales que se caracterizan por tener plasticidad, ya que no son afectados en gran medida por factores de manejo, como ser condiciones de siembra, densidad de siembra, fertilización entre otros; en relación a otras variedades que son más dependientes de las medidas de manejo, para lograr una población de tallos necesarios para obtener alta productividad. Ambos materiales mencionados anteriormente presentan una curva de crecimiento similar pero Avaxi presenta más productividad debido a una mayor capitalización de la biomasa producida en grano (IC). Por su parte INIA Olimar e Inov también son similares en curva de crecimiento, pero el material híbrido presenta mayor rendimiento debido a un mayor IC, característica relevante en los materiales modernos. Por último INIA Parao es un material moderno que al igual que lo mencionado presenta alto IC, pero su rendimiento fue el menor debido a una menor producción de biomasa.

La densidad de siembra es una herramienta importante para lograr el número de tallos/m² necesarios para obtener altos rendimientos. La precisión en el manejo de la misma resulta de mayor importancia en los cultivares de menor plasticidad. Sin embargo un aumento excesivo en la densidad en materiales con alta producción de biomasa puede causar detrimento en el rendimiento por competencia interna de radiación.

En cuanto a la respuesta a la fertilización nitrogenada en un año record de rendimientos, si hubo respuesta la misma fue negativa en la mayoría de los casos.

Las diferentes densidades lograron diferentes niveles de IAF para el promedio de todos los cultivares y los dos niveles de nitrógeno, no teniendo el mismo efecto sobre el rendimiento, el cual se mantuvo estable a través de las diferentes densidades.

El grupo "A" formado a través del análisis "Culster", el cual presentó mayor rendimiento, fue el que tuvo un mayor crecimiento hasta floración, independizándose en cierta forma del crecimiento post floración (coef. Path 1,12 vs 1,45). Por otra parte en el grupo "B" de menor crecimiento, la TCC post-floración tuvo mayor relevancia a la hora de determinar el rendimiento. Lo que a priori hace pensar que cultivares o medidas de manejo que provoquen un mayor crecimiento y por lo tanto mayor biomasa a floración, son en parte responsables de mayores rendimientos e independizan en cierta forma al cultivo del crecimiento posterior.

En relación a lo mencionado anteriormente, los cultivares L5502 y Olimar, solo integran el grupo "A" (grupo de mayor rendimiento y mayores valores en los parámetros de crecimiento) en la densidad 3. En esta densidad estos cultivares alcanzan valores similares en No. de tallos/m² e IAF que Avaxi en la densidad mas baja.

Para el modelo de formación de rendimiento en el grupo "A" la variable que tuvo mayor efecto directo fue el IC, pero todas tuvieron efecto positivo y muy significativo sobre el rendimiento; esto no quiere decir que se deba mejorar solo en IC para los casos que integraron el mismo, hay que tener en cuenta que hay correlaciones entre las variables (estas son negativas), lo que nos lleva a tener en cuenta que no se puede mejorar la variable de mayor efecto porque puede ir en detrimento del rendimiento. Para el grupo "B" ocurre lo mismo, donde la variable que tuvo mayor efecto directo fue TCC Flor.-Mad, no hay que incrementar solamente la misma porque esta correlacionada en forma negativa con las otras variables.

6 RESUMEN

En el año agrícola 2010 – 2011 se instaló un ensayo en la Unidad Experimental “Paso de la Laguna” perteneciente a INIA Treinta y Tres, cuyo objetivo fue asociar el desarrollo foliar y acumulación de biomasa en el período reproductivo y durante el llenado de granos con la concreción del rendimiento en cultivares de arroz de alto potencial. El ensayo fue realizado en la UEPL. El diseño utilizado fue el de parcelas sub-sub-divididas considerando cultivar como parcela principal, densidad como sub-parcela, dentro de esta sub-parcela se ubicaron los niveles de nitrógeno. Se realizaron cuatro bloques. Se evaluó un grupo de cinco cultivares de arroz en tres niveles de densidad de siembra y dos niveles de fertilización nitrogenada, realizándose muestreos destructivos en las etapas fenológicas siguientes: macollaje (M), primordio (P), 50% floración (F), madurez (Mad). El híbrido Avaxi fue el cultivar con mayor macollaje (N^a tallos/m² promedio para todo el período), mayor número de panículas por metro cuadrado, mayor No. de granos/m² seguido por el otro híbrido Inov, y mayor área específica de hojas (SLA). Avaxi y El Paso 144 (cultivares de alto macollamiento y producción de hojas) fueron los que presentaron mayor IAF y mayor LWR (leaf weight ratio en sus siglas en inglés). El Paso 144 presentó la mayor biomasa total y fue el cultivar que hizo mayor acumulación de biomasa en vainas. En términos promedio Avaxi fue el cultivar con mayor desarrollo foliar respecto a la biomasa total acumulada (LAR, *leaf area ratio* en sus siglas en inglés). Los cultivares híbridos rindieron más que las variedades; así mismo entre estas las diferencias fueron significativas. Las mayores densidades de siembra significaron incrementos en la población de tallos, IAF, acumulación de biomasa y número de panículas por metro cuadrado. En cuanto al factor N no causó diferencias significativas en el número de tallos/m², si causó diferencias en el desarrollo de hojas y hubo una respuesta negativa en rendimiento al agregado incremental. El No. de tallos/m² presentó los mayores valores en estadios vegetativos (pleno macollamiento), con una declinación significativa hasta floración. La altura de plantas también varió según momento fenológico. El IAF aumentó rápidamente alcanzando su máximo valor en 50% Floración, decreciendo en la planta madura debido a la senescencia de hojas y en particular la muerte de hojas inferiores. La evolución de la biomasa en el ciclo de vida de los cultivares fue el esperado, presentando el valor máximo en floración, así como un pronunciado descenso durante llenado de granos, lo que indicaría la movilización de carbohidratos desde estos tejidos hacia la panoja, en particular, de reservas o carbohidratos no estructurales. La tasa de crecimiento de cultivo también fue afectada por el período evaluado. Un análisis cluster final arrojó la formación de dos grupos, “A” y “B” donde “A” presenta mayor valor que “B” para las variables IAF y N^o de tallos/m² en los tres estadios utilizados en el análisis. El grupo “A” presenta mayor índice de cosecha, mientras que en la variable TCC 50% Flor-Mad el grupo “B” presenta el mayor

valor. Ambos grupos difirieron significativamente en el rendimiento alcanzado. En el grupo "B" la variable TCC Flor-Mad es la que tuvo mayor impacto en el rendimiento. En el grupo A, en tanto, las variaciones en el rendimiento se asociaron en mayor medida al IC y en segundo orden a la tasa de crecimiento durante llenado de granos.

Palabras clave: Índice de Área Foliar; Tasa de Crecimiento del Cultivo; Biomasa; Oryza sativa; Índice de Cosecha.

7 SUMMARY

In the agricultural year 2010 - 2011 was installed in the Experimental Test "Paso de la Laguna" belonging to INIA Thirty-Three, whose objective was to associate the leaf development and biomass accumulation in the reproductive period and during the grain filling with the realization of performance in rice cultivars with high potential. The trial was conducted in the UEPL. The design used was sub-plots subdivided considering farming as the main plot, subplot density and, within this sub-plots were located nitrogen levels. There were four blocks. We evaluated a group of five rice cultivars at three levels of density and two levels of nitrogen fertilization, and samples were destructive in the following phenological stages: tillering (M), primordia (P), 50% flowering (F), maturity (Mad). The hybrid cultivar Avaxi was more tillering (N^a stems/m² average for the entire period), higher number of panicles per square meter, most of grains/m² not followed by the other Inov hybrid, and higher specific leaf area (SLA.) Avaxi and El Paso 144 (high tillering cultivars and leaf production) were those with higher IAF and higher LWR (leaf weight ratio in its acronym in English). 144 El Paso had the highest total biomass was the cultivar that was greater accumulation of biomass in terms vainas. En Avaxi average was the cultivar with greater leaf area compared to total biomass accumulated (LAR, leaf area ratio in its acronym in English). The hybrid cultivars yielded more than the varieties, likewise between these differences were significant. The higher seed meant increases in stalk population, IAF, biomass accumulation and number of panicles per square meter. As regards the factor N did not cause significant differences in the number of stems/m², whether caused differences in leaf development, and there was a negative response in performance when added incrementally. The present stems/m² Not the greatest values in vegetative stages (full tillering), with a significant decline until flowering. The plant height phenology also varied by time. The IAF increased rapidly reaching its maximum value at 50% flowering, decreasing in the mature plant due to senescence of leaves and in particular the death of lower leaves. The evolution of biomass in the life cycle of the cultivars was as expected, showing the maximum value in bloom, and a sharp decline during grain filling, indicating the mobilization of carbohydrates from these tissues to the panicle, including reserves, or nonstructural carbohydrates growth rate was also affected by growing the evaluation period. A final cluster analysis showed the formation of two groups, "A" and "B" where "A" has more value than "B" for the variables IAF and number of stems/m² in the three stages used in the analysis. The group "A" has greater harvest index, while in the variable TCC 50% Flor-Mad the group "B" has the highest value. Both groups differed significantly on the performance achieved. In group "B" variable Flor-Mad CBT is that had the most impact on performance. In group A, while the variations in

performance were associated more to the IC and second order growth rate during grain filling.

Keywords: Leaf Area Index; Crop Growth Rate; Biomass; *Oryza sativa*; Harvest Index.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. BAEZ, D.; TOLEDO, E. 1998. Análisis de crecimiento y componentes de rendimiento en cultivares de arroz II. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 146 p.
2. BENAVIDEZ, R. A. dir. 2006. El Arroz; su cultivo y sustentabilidad. Concepción del Uruguay, Universidad Nacional de Entre Ríos/ Universidad Nacional del Litoral. 326 p.
3. BLANCO, P.H. 1991. Growth and assimilate partitioning in rice cultivars of different maturity groups. Tesis M.SC. Arkansas, USA, University of Arkansas. 141 p.
4. BUENO, C.S.; LAFARGE, T. 2009. Higher crop performance of rice hybrids than of elite in bred in the tropics: 1. Hybrids accumulate more biomass during each phenological phase. (en línea). Fields Crop Research. 112 (2-3): 229-237. Consultado 18 abr. 2012. Disponible en <http://dSPACE.irri.org:8080/dSPACE/bitstream/10269/1378/1/CDPDF2009%203%20BuenoCS.pdf>
5. DONALD, M.; HAMBLIN, J. 1976. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. Advances in Agronomy . 28: 361-405
6. DUY, P.Q.; HIRANO, M.; SAGAWA, S.; KURODA, E. 2004. Analysis of the dry matter production process related to yield and yield components of rice plants grown under the practice of nitrogen-free basal dressing accompanied with sparse planting density. (en línea). Plant Production Science. 7(2): 155-164. Consultado 18 abr. 2012. Disponible en https://www.istage.ist.go.jp/article/pps/7/2/7_2_155/pdf

7. FAGERIA, N. K. 2007. Yield physiology of rice. (en línea). Journal of Plant Nutrition. 30 (6): 843-879. Consultado 18 abr. 2012.
Disponible en
<http://ehis.ebscohost.com.proxy.timbo.org.uy:443/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=9&hid=6&sid=efed2b15-3370-4412-8d86-37992189c307%40sessionmgr111>
8. FUKUSHIMA, A.; SHIRATSUCHI, H.; YAMAGUCHI, H.; FUKUDA, A. 2011. Varietal differences in morphological traits, dry matter production and yield of high-yielding rice in the Tohoku region of Japan. (en línea). Plant Production Science. 14(1): 47-55. Consultado 18 abr. 2012.
Disponible en
https://www.istage.ist.go.jp/article/pps/14/1/14_1_47/_pdf
9. GARCIA, J.; PINTOS, A. 1997. Momentos de cosecha en cuatro variedades de arroz. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 91 p.
10. HUANG, M.; ZOU, Y.; JIANG, P.; XIA, B.; Md, I.; AO, H.. 2011. Relationship between grain yield and yield components in super hybrid rice. (en línea). Agricultural Science in China. 10 (10): 1537-1544. Consultado 18 abr. 2012.
Disponible en
http://ac.els-cdn.com.proxy.timbo.org.uy:443/S1671292711601491/1-s2.0-S1671292711601491-main.pdf?_tid=efc714057475009e823fb935dc27b209&acdnt=1341001830_36e89bde9b0831e80665c8a49fbc682d
11. LAFARGE, T.; BUENO, C.S. 2009. Higher crop performance of rice hybrids than of elite inbreds in the tropics: 2. Does sink regulation, rather than sink size, play a major role? (en línea). Field Crops Research. 112 (2-3): 238–244. Consultado 18 abr. 2012.
Disponibile
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429009002160>
12. LAMBERS, H.; STUART CHAPIN, F. S.; PONS T.L. 1998. Plant physiological ecology. New York, Springer-Verlag. 540 p.

13. LEOPOLD, A. C.; KRIEDEMANN, P. E. 1975. Plant growth development. 2nd.ed. New York, Mc Graw-Hill. 545 p. (Mc Graw-Hill Series In Organismic Biology).
14. MA, J.; MA, W.; MING, D.; YANG, S.; ZHU, Q. 2006. Characteristics of rice plant with heavy panicle. (en línea). Agricultural Sciences in China. 5(12): 911-918. Consultado 18 abr. 2012.
Disponible en
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1671292707600042>
15. PENG, S.; KHUSH, G.; VIRK, P.; TANG, Q.; ZOU, Y. 2008. Progress in ideotype breeding to increase rice yield potential. (en línea). Field Crops Research. 108 (1): 32-38. Consultado 18 abr. 2012.
Disponible en
<http://www.sciencedirect.com.proxy.timbo.org.uy:443/science/article/pii/S0378429008000749>
16. PEREZ, F.; HENANDEZ, G.; LUCAS, T.; MOREIRA, G. 2011. Construcción del rendimiento en cultivares (variedades e híbridos) de alto potencial según densidad de siembra y fertilización nitrogenada. In: Arroz; resultados experimentales 2010-2011. Treinta y Tres, INIA. cap. 7, pp. 15-17 (Actividades de Difusión no. 651).
17. PORTO, A.; CASTRO, L. 1994. Análisis de crecimiento y componentes de rendimiento en cultivares de arroz. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 159 p.
18. SANTOS, A. B. dos; STONE, L.F.; VIEIRA, N.R. de A. 2006. A Cultura do Arroz no Brasil. 2a. ed. rev. ampl. Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão. 1000 p.

19. TAKAI, T.; MATSUURA, S.; NISHIO, T.; OHSUMI, A.; SHIRAIWA, T.; HORIE, T. 2006. Rice yield potential is closely related to crop growth rate during late reproductive period. (en línea). *Field Crops Research*. 96 (2-3): 328–335. Consultado 18 abr. 2012.
Disponible en
http://ac.els-cdn.com.proxy.timbo.org.uy:443/S0378429005001760/1-s2.0-S0378429005001760-main.pdf?_tid=ffb9d2a39ee6e4b579b4b00ea4501634&acdnat=1340998803_5297ff02493482fb17a18855ce3958e6
20. WANG, Y.; KURODA, E.; HIRANO, M.; MURATA, T. 1996. Analysis of high yielding mechanism of rice varieties belonging to different plant types. (en línea). *Japan Journal Crop Science*. 66: 293-299. Consultado 18 abr. 2012.
Disponible en
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jcs1927/66/2/66_2_293/_pdf
21. YANG, W.; PENG, S.; LAZA, R.; VISPERAS, R.; DIONISIO-SESE, M. 2007. Grain yield and yield attributes of new plant type and hybrid rice. (en línea). *Crop Science*. 47 (4): 1393-1400. Consultado 18 abr. 2012.
Disponible en
<https://www.crops.org/publications/cs/abstracts/47/4/1393>
22. YOSHIDA, S. 1981. *Fundamentals of rice crop science*. Los Baños, IRRI. 269 p.
23. ZHANG, Z; PING, L.; WANG, L.; ZHONG, L.; HUANG, L.; ZHU, L.. 2004. Genetic dissection of the relationships of biomass production and partitioning with yield and yield related traits in rice. (en línea). *Plant Science*. 167 (1): 1–8. Consultado 18 abr. 2012.
Disponible en
<http://www.sciencedirect.com.proxy.timbo.org.uy:443/science/journal/01689452/167/1>
24. ZHONG, X.; PENG, S.; SHEEHY, J:E.; VISPERAS, R.M.; LIU, H. 2002. Relationship between tillering and leaf area index: quantifying critical leaf area index for tillering in rice. *Journal of Agricultural Science*. 138: 269–279.

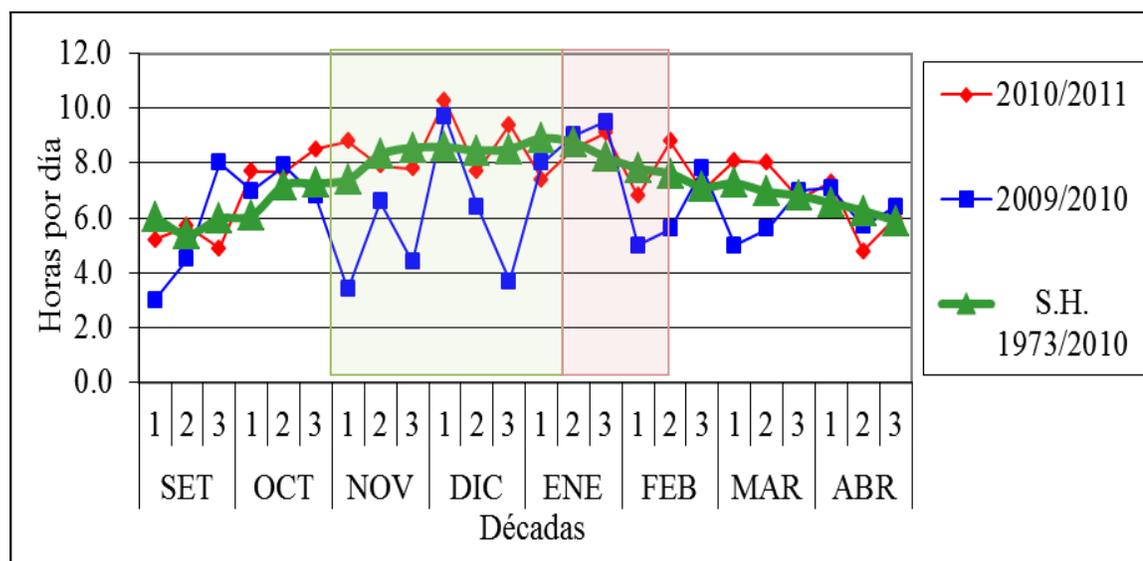
9. ANEXOS

Caracterización climática.

La información climática fue proporcionada por la estación agro meteorológica instalada en la U.E.P.L. A. Los datos corresponden al período comprendido entre Setiembre y Abril.

Heliofanía.

Horas de sol decádicas correspondientes a los años 2010/2011, 2009/2010 y Serie histórica 1973/2010



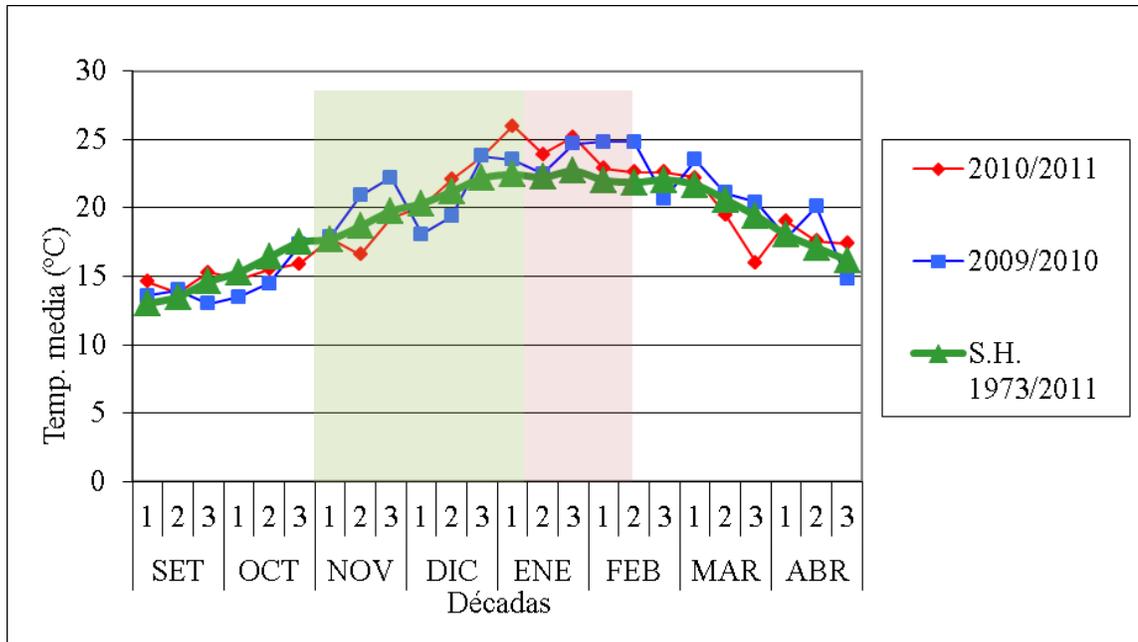
Fuente: elaborado en base a datos de la U.E.P.L.¹

Para el período vegetativo del cultivo, comprendido entre noviembre hasta la primera década de Enero, el año presentó mayor número de horas de sol por día que la serie, siendo mayor aún la diferencia con la zafra pasada.

¹ U.E.P.L. Estación Agrometeorológica. 2011. Datos horas de sol decádicas (sin publicar).

Temperatura.

Temperatura media decádica correspondiente a las zafras 2009/2010, 2010/2011 y S.H. 1973/2010.



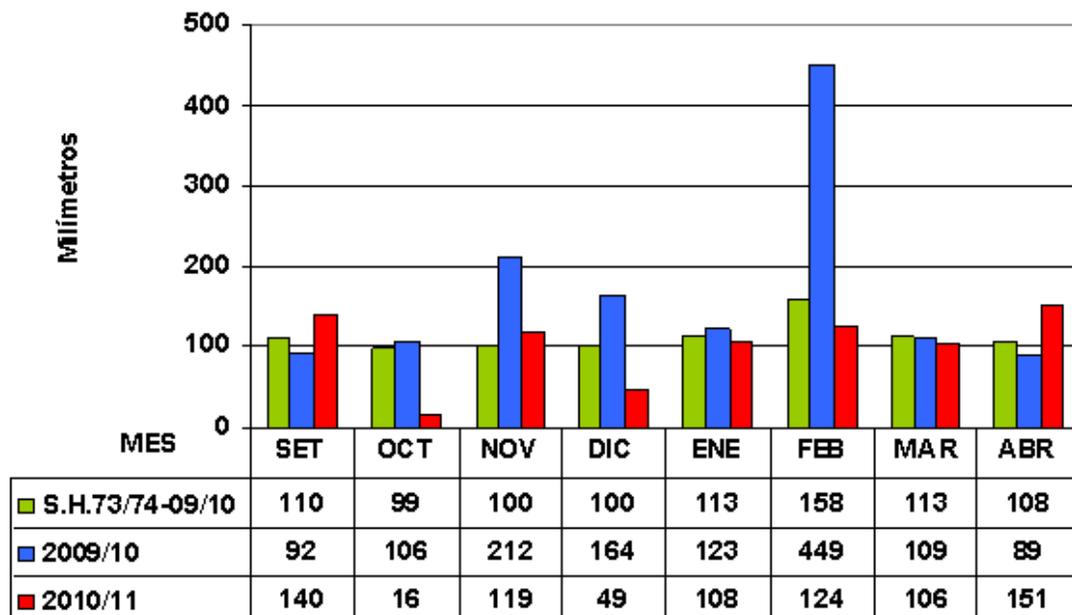
Fuente: elaborado en base a datos de la U.E.P.L.²

En el período vegetativo podemos distinguir dos momentos respecto al comportamiento de esta variable. En la zafra 2010/2011 la temperaturas medias fueron inferiores a las registradas en la zafra 2009/2010 y al promedio histórico hasta la mitad de la etapa vegetativa. Luego las temperaturas de la zafra 2010/2011 superan a las de la zafra anterior, incluso al promedio histórico.

² U.E.P.L. Estación Agrometeorológica. 2011. Temperatura media decádica (sin publicar).

Precipitaciones.

Precipitaciones (mm) para las zafras 2010/2011, 2009/2010, Serie histórica 1973/2010



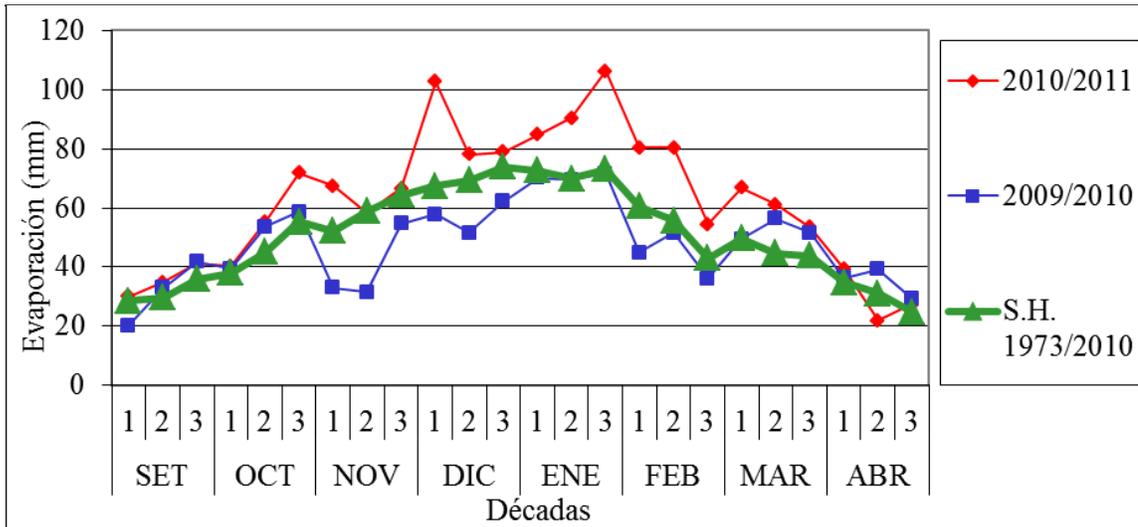
Fuente: elaborado en base a datos de la U.E.P.L.³

La zafra en que se realizó el ensayo tuvo precipitaciones muy similares a las medias históricas, aunque cabe destacar que en los meses de Octubre y Diciembre se registraron menores precipitaciones que en la serie histórica.

³ U.E.P.L. Estación Agrometeorológica. 2011. Precipitaciones (mm) (sin publicar).

Evaporación.

Evaporación de tanque "A" para las zafras 2009/2010, 2010/2011 y Serie Histórica 1973/2010



Fuente: elaborado en base a datos de la U.E.P.L.⁴

La evaporación medida en tanque "A", fue muy superior a la registrada en la zafra anterior así como en la serie histórica. Es decir, una alta evaporación se relaciona con condiciones de elevada heliofanía y elevada temperatura.

⁴ U.E.P.L. Estación Agrometeorológica. 2011. Evaporación de tanque A (sin publicar).