

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

ANÁLISIS DE CRECIMIENTO EN CULTIVARES DE ARROZ DE ALTO
POTENCIAL DE RENDIMIENTO: EFECTOS DE FERTILIZACIÓN
NITROGENADA Y DENSIDAD DE SIEMBRA

por

Ruben Matías MESONES HERNÁNDEZ

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

MONTEVIDEO
URUGUAY
2018

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. MSc. PhD. Fernando Blas Pérez de Vida

Ing. Agr. MSc. Jesús Castillo Velázquez

Ing. Agr. Guillermo Siri Prieto

Fecha: 12 de diciembre de 2018

Autor:

Ruben Matías Mesones Hernández

AGRADECIMIENTOS

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

Al subdirector de la tesis Ing. Agr. MSc. Jesús Castillo Velázquez.

A los funcionarios de la sección de Manejo del cultivo de arroz: Alexandra Ferreira Rodríguez, Cesar Denis, Santiago Goroso, Damián Piñeiro y al funcionario de la sección mejoramiento genético Daniel Ramírez.

A la estudiante de pasantía Isadora Jaeger.

A mi familia, amigos, compañeros de generación y docentes.

A Facultad de Agronomía y a INIA Treinta y Tres por brindarme la oportunidad.

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>IMPLANTACIÓN</u>	2
2.2 <u>TASA DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO (TCC)</u>	2
2.3 <u>PRODUCCIÓN DE BIOMASA</u>	3
2.3.1 <u>Relación de la producción de biomasa y el rendimiento del cultivo</u>	3
2.3.2 <u>Partición de la materia seca</u>	4
2.3.3 <u>Relación de la producción de materia seca y el índice de área foliar</u>	5
2.4 <u>ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF)</u>	6
2.4.1 <u>Generalidades del índice de área foliar</u>	6
2.4.2 <u>Productividad varietal con respecto al índice de área foliar</u>	6
2.4.3 <u>Incidencia del clima, variedad y nutrición mineral sobre el índice de área foliar</u>	8
2.5 <u>ÍNDICE DE COSECHA (IC)</u>	9
2.5.1 <u>Índice de cosecha y rendimiento del cultivo</u>	9
2.5.2 <u>Factores del ambiente y la planta que inciden en el índice de cosecha</u>	9
2.6 <u>RENDIMIENTO</u>	10
2.6.1 <u>Generalidades de la formación del rendimiento</u>	10
2.6.2 <u>Antecedentes de los cultivares INIA Merín y SLI09197</u>	11
2.6.3 <u>Componentes del rendimiento</u>	12
2.6.3.1 <u>Número de panojas por metro cuadrado</u>	13
2.6.3.2 <u>Número de granos por panoja</u>	13
2.6.3.3 <u>Peso de mil granos (PMG)</u>	15
2.6.3.4 <u>Porcentaje de esterilidad</u>	15
2.6.4 <u>Características agronómicas de la planta que inciden en el rendimiento</u>	17

2.6.4.1 Macollaje	17
2.6.4.2 Altura de planta	18
2.6.5 <u>Efecto de la dosis de nitrógeno y la densidad de siembra</u>	19
2.6.6 <u>Incidencia de factores ambientales</u>	22
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	24
3.1 LOCALIZACIÓN.....	24
3.2 DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO	24
3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	26
3.4 DETERMINACIONES Y REGISTROS	27
3.4.1 <u>Evolución del macollaje</u>	27
3.4.2 <u>Evolución de la altura o longitud de planta</u>	28
3.4.3 <u>Evolución de la materia seca (MS)</u>	29
3.4.4 <u>Evolución del área foliar</u>	30
3.4.5 <u>Rendimiento</u>	31
3.4.5.1 Componentes de rendimiento	31
3.4.5.2 Índice de cosecha	32
3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	32
4. <u>RESULTADOS</u>	33
4.1 IMPLANTACIÓN	33
4.2 ACUMULACIÓN DE MATERIA SECA	35
4.2.1 <u>Producción de biomasa</u>	35
4.2.2 <u>Acumulación de biomasa según estado fenológico del cultivo</u>	37
4.2.3 <u>MS total acumulada a 50% de floración</u>	38
4.2.4 <u>MS total acumulada 20 días post. 50% de floración</u>	39
4.2.5 <u>Producción de biomasa y No. de tallos</u>	41
4.3 PARTICIÓN DE LA MATERIA SECA	46
4.4 DESARROLLO FOLIAR.....	47
4.4.1 <u>Índice de área foliar a 50% de floración</u>	47
4.4.2 <u>Índice de área foliar a 20 días post. 50% de floración</u>	49
4.4.3 <u>Índice de área foliar a madurez fisiológica</u>	51
4.5 RENDIMIENTO.....	52
4.5.1 <u>Componentes del rendimiento</u>	53
4.5.1.1 Número de panojas por metro cuadrado	53
4.5.1.2 Número de granos por panoja.....	54
4.5.1.3 Número de granos llenos por metro cuadrado	55
4.5.1.4 Peso de mil granos (PMG)	57

4.5.1.5 Porcentaje de esterilidad de granos	58
4.5.2 <u>Índice de cosecha de grano (IC)</u>	58
4.5.3 <u>Tasa de crecimiento del cultivo</u>	60
4.5.3.1 Tasa de crecimiento del cultivo de elongación a 50% de floración	60
4.5.3.2 Tasa de crecimiento de 50% de floración a 20 días post. 50% de floración	61
4.5.3.3 Tasa de crecimiento de 20 días post. 50% de floración – madurez fisiológica	63
4.6 ANÁLISIS DE CLÚSTER	65
4.7 MODELOS DE FORMACIÓN DEL RENDIMIENTO	68
4.7.1 <u>Formación del rendimiento a partir de características agronómicas</u>	68
4.7.2 <u>Formación del rendimiento a partir de sus componentes</u>	69
5. <u>DISCUSIÓN</u>	71
6. <u>CONCLUSIONES</u>	82
7. <u>RESUMEN</u>	83
8. <u>SUMMARY</u>	85
9. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	86

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Porcentaje de recuperación para los cultivares INIA Merín y SLI09197 según densidad de siembra	34
2. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre la biomasa total (Kg/ha) para INIA Merín	35
3. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre la biomasa total (Kg/ha) para SLI09197	36
4. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción para la MS a 50% de floración en el cultivar INIA Merín	38
5. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción para la MS a 50% de floración en el cultivar SLI09197	38
6. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre la MS total a 20 días post. 50% de floración para el cultivar INIA Merín	39
7. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre la MS total a 20 días post. 50% de floración para el cultivar SLI09197	40
8. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el No. de tallos logrados/m ² a madurez fisiológica para el cultivar INIA Merín	41
9. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el No. de tallos logrados/m ² a madurez fisiológica para el cultivar SLI09197	42
10. Partición de la biomasa total para el cultivar INIA Merín según la densidad de siembra como No. de tallos/m ² logrados a madurez fisiológica	44
11. Partición de la biomasa total para el cultivar SLI09197 según la densidad de siembra como No. de tallos/m ² logrados a madurez fisiológica	44
12. Partición de la materia seca en Kg MS/m ² , para cada cultivar desde elongación hasta madurez fisiológica para el promedio de todos los tratamientos	46
13. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el IAF a 50% de floración en el cultivar INIA Merín	47
14. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el IAF a 50% de floración en el cultivar SLI09197	48

15.Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción para el IAF a 20 días post. 50% de floración en el cultivar INIA Merín	49
16.Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción para el IAF a 20 días post. 50% de floración en el cultivar SLI09197	50
17.Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el IAF a madurez fisiológica para el cultivar INIA Merín	51
18.Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el IAF a madurez fisiológica en el cultivas SLI09197	52
19.Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el rendimiento del cultivo para el cultivar INIA Merín	52
20.Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el rendimiento del cultivo para el cultivar SLI09197	52
21.Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el No. de panojas/m ² para el cultivar INIA Merín	53
22.Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el No. de panojas/m ² para el cultivar SLI09197	54
23.Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el No. de granos/panoja para el cultivar INIA Merín	54
24.Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el No. de granos/panoja para el cultivar SLI09197	54
25.Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el No. de granos llenos/m ² para el cultivar INIA Merín	55
26.Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el No. de granos llenos/m ² para el cultivar SLI09197	56
27.Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el PMG en el cultivar INIA Merín	57
28.Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el PMG en el cultivar SLI09197	57
29.Prueba de los efectos de los factores densidad, nitrógeno y su interacción en el % de esterilidad para el cultivar INIA Merín	58
30.Prueba de los efectos de los factores densidad, nitrógeno y su interacción en el % de esterilidad para el cultivar SLI09197	58
31.Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el índice de cosecha (IC) para el cultivar INIA Merín	58

32.Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el índice de cosecha (IC) para el cultivar SLI09197	59
33.Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre la TCC elongación - 50% floración para el cultivar INIA Merín	60
34.Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre la TCC elongación - 50% floración para el cultivar SLI09197	61
35.Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción para la TCC floración-20 días post. para el cultivar INIA Merín	61
36.Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción para la TCC floración-20 días post. para el cultivar SLI09197	62
37.Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción para la TCC 20 días post. 50% de floración - madurez fisiológica para el cultivar INIA Merín	63
38.Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción para la TCC 20 días post. 50% de floración - madurez fisiológica para el cultivar SLI09197	64
39.Análisis de clúster teniendo en cuenta cinco momentos fenológicos del cultivo y cuatro variables informativas: IAF, biomasa total (Kg/ha), No. de tallos/m ² y longitud de planta (cm)	65
40.Diferenciación de los clústeres, según los tratamientos que los conforman en función de cultivar, densidad de siembra y nivel de nitrógeno	66
Figura No.	
1. Plano del diseño experimental (parcelas divididas en DBCA) según tratamiento para INIA Merín	26
2. Plano del diseño experimental (parcelas divididas en DBCA) según tratamiento para SLI09197	27
3. Esquema de sistematización del muestreo y cosecha, con sus correspondientes dimensiones	28
4. Esquema demostrativo del procedimiento realizado en cada muestreo destructivo realizado	30
5. Implantación y porcentaje de recuperación de plantas para el cultivar INIA Merín, según densidad de siembra	33
6. Implantación y porcentaje de recuperación de plantas para el cultivar SLI09197, según densidad de siembra	33

7. Evolución de la acumulación de biomasa en los cultivares SLI09197 e INIA Merín para el promedio de todos los tratamientos	35
8. Efecto del nitrógeno sobre la biomasa total (Kg/ha) para el cultivar INIA Merín	36
9. Efecto del nitrógeno sobre la biomasa total (Kg/ha) para el cultivar SLI09197	36
10. Efecto de la interacción de la densidad de siembra y el estadio fenológico del cultivo para la acumulación de biomasa total en el cultivar INIA Merín	37
11. Efecto de la interacción de la densidad de siembra y el estadio fenológico del cultivo para la acumulación de biomasa total en el cultivar SLI09197	37
12. Efecto de la interacción densidad y nitrógeno sobre la MS a 50% de floración en el cultivar INIA Merín	38
13. Efecto del nitrógeno sobre la MS total a 50% de floración para el cultivar SLI09197	39
14. Efecto del nitrógeno sobre la MS acumulada a 20 días post. 50% de floración para el cultivar INIA Merín	40
15. Efecto del nitrógeno sobre la MS acumulada a 20 días post. 50% de floración para el cultivar SLI09197	40
16. Efecto del No. de tallos logrados/m ² a madurez fisiológica sobre la biomasa total acumulada para cada cultivar	41
17. Efecto de la densidad de siembra sobre el No. de tallos logrados/m ² a madurez fisiológica para cada cultivar	42
18. Efecto de la densidad de siembra sobre el No. de plantas/m ² en implantación y el No. de tallos logrados/m ² a madurez fisiológica para el cultivar INIA Merín	43
19. Efecto de la densidad de siembra sobre el No. de plantas/m ² en implantación y el No. de tallos/m ² a madurez fisiológica para el cultivar SLI09197	43
20. Efecto del nitrógeno sobre el No. de tallos logrados/m ² a madurez fisiológica en ambos cultivares	45
21. Evolución del IAF a través de cuatro estadios fenológicos del cultivo para ambos cultivares para el promedio de todos los tratamientos	47
22. Efecto de la interacción densidad y nitrógeno en el IAF a 50% de floración para el cultivar INIA Merín	48

23.Efecto del factor nitrógeno sobre el IAF a 50% de floración para el cultivar SLI09197	49
24.Efecto del factor nitrógeno sobre el IAF a 20 días post. 50% de floración en el cultivar INIA Merín	50
25.Efecto del factor nitrógeno sobre el IAF a 20 días post. 50% de floración en el cultivar SLI09197	50
26.Efecto del nitrógeno sobre el IAF a madurez fisiológica en el cultivar INIA Merín	51
27.Efecto del nitrógeno sobre el rendimiento del cultivo para cada cultivar	53
28.Efecto de la interacción densidad y nitrógeno sobre el No. de granos/panoja en el cultivar SLI09197	55
29.Efecto del nitrógeno sobre el No. de granos llenos/m ² para el cultivar SLI09197	56
30.Efecto del nitrógeno sobre el peso de mil granos para cada cultivar	57
31.Efecto del nitrógeno sobre el IC para el cultivar INIA Merín	59
32.Efecto del nitrógeno sobre el IC para el cultivar SLI09197	59
33.Efecto de la interacción densidad y nitrógeno sobre la TCC elongación - 50% de floración para el cultivar INIA Merín	60
34.Efecto del nitrógeno sobre la TCC elongación - 50% de floración para el cultivar SLI09197	61
35.Efecto del nitrógeno sobre la TCC 50% floración - 20 días post. 50% de floración para el cultivar INIA Merín	62
36.Efecto del nitrógeno sobre la TCC en el período 20 días post. 50% de floración - madurez fisiológica para el cultivar INIA Merín	63
37.Efecto del nitrógeno sobre la TCC en el período 20 días post. 50% de floración - madurez fisiológica para el cultivar SLI09197	64
38.Modelos de formación del rendimiento para los cultivares SLI09197 e INIA Merín	68
39.Modelos de formación del rendimiento para el cultivar SLI09197 a partir de los distintos componentes	69

1. INTRODUCCIÓN

El sector arrocerero uruguayo es uno de los más exitosos e integrados del país, lo que ha contribuido a aumentar los rendimientos a una de las tasas más altas del mundo. La marcada desaceleración en la tasa de incremento de rendimiento registrada en los últimos años en Uruguay, podría estar indicando que los rendimientos actuales promedio del arroz se estarían acercando al techo de rendimiento biofísico, siendo el potencial de rendimiento promedio de 14 t/ha. Los rendimientos de arroz en Uruguay aumentaron 148 kg/ha/año desde el año 2000 a 2016. Estas altas tasas de aumento de los rendimientos actuales registrados fueron debidas a la incorporación de cultivares y a la adopción de prácticas de manejo integrado en el cultivo de arroz. Debido a los altos costos actuales de insumos y a los bajos precios del arroz, mantener el aumento de los rendimientos es fundamental para la viabilidad y sostenibilidad del cultivo en Uruguay (Carracelas et al., 2017).

Teniendo en cuenta la incorporación de nuevos cultivares como una de las causas de las altas tasas de aumento en el rendimiento es que se realiza la comparación y caracterización de los cultivares INIA Merín y SLI09197. Ambos cultivares en estudio, de subtipo indica son de alto potencial de rendimiento y sólida resistencia a Pyricularia. Por un lado INIA Merín se lanzó comercialmente en el año 2015 luego de ser evaluado en campos de productores durante las dos zafras previas en la etapa de “validación” (Pérez de Vida et al., 2017b); mientras que SLI09197 es una línea experimental que comenzó a evaluarse desde el año 2009 hasta la actualidad, superando en rendimiento para el promedio de las zafras entre 0,5 y 1 t/ha a INIA Merín.

Este trabajo se basará en estudiar las relaciones entre el rendimiento y la evolución de la canopia destacando las características que hacen a estos cultivares de alto potencial de acuerdo a las condiciones ambientales del Este del país. Por lo tanto, tiene como objetivo comparar la respuesta de la arquitectura de planta de dos cultivares de alto potencial, a la modificación de la canopia en cuanto a la combinación de distintos niveles de los factores: densidad de siembra y fertilización nitrogenada, visto como respuesta en la evolución del IAF, acumulación de biomasa y respuesta en rendimiento.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 IMPLANTACIÓN

El uso de una densidad óptima de siembra permitiría el establecimiento de una población ideal. En este sentido la siembra entre 130 y 150 Kg/ha de semilla puede garantizar la germinación y el desarrollo de por lo menos 200 plántulas/m² (INIA, citado por Jiménez et al., 2009).

Jiménez et al. (2009) observaron que hubo efecto significativo ($P < 0,05$) de la densidad de siembra sobre el número de plantas/m². El mayor número de plantas/m² se correspondió con las densidades de 110 y 140 Kg/ha sembradas al voleo, ya que se obtuvieron 152 y 155 plantas/m² respectivamente. Por lo tanto, concluyeron que el No. de plantas/m² es una variable que influye sobre el rendimiento del cultivo, infiriendo que hay densidades de siembra adecuadas que van de 110 a 170 Kg/ha para garantizar un buen estado de plantas que permita obtener buenos rendimientos.

Según Pérez de Vida y Ramírez (2012) la distribución general de los datos obtenidos en un experimento con tres densidades, indica que en el rango total de poblaciones manejadas de 50 a 250 plantas/m² se obtendría un óptimo de rendimiento entorno a las 200-250 plantas/m².

Marchesi (2017) en un trabajo que tenía como objetivo densidades de 325, 488 y 650 semillas viables/m², destaca la creciente respuesta de INIA Merín en el rendimiento ante aumentos en la densidad, mientras que SLI09197, tuvo respuesta en uno solo de los escalones. De todas formas, un mayor número de plantas logrado no siempre tiene por qué traducirse en mayor rendimiento, ya que un exceso de plantas puede inhibir el macollamiento, o favorecer la producción de panojas más pequeñas. Si el óptimo sea lograr entre 250 y 300 plantas/m², en este caso, las densidades de entre 170 y 230, y entre 110 y 170 kg/ha fueron las adecuadas para los cultivares INIA Merín y SLI09197, respectivamente.

En un trabajo realizado por Quezada et al. (2013) con seis genotipos de arroz y dos niveles de nitrógeno (0N y 50N) señalaron que en los genotipos Quila 223202 y Quila 156906 se obtuvieron 360 (N50) y 367 (N0) plantas/m², y para el resto de los genotipos entre 203 (N0) y 347 (N50) plantas/m².

2.2 TASA DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO (TCC)

Es un índice de la eficiencia con que el cultivo produce biomasa vegetal en el campo. Es por tanto, un índice de productividad agronómica. Relaciona la ganancia en materia seca de la comunidad de plantas con el área de suelo que ésta ocupa y con el tiempo, o sea, es la materia seca producida por unidad de área y por unidad de tiempo. Aunque se incremente el IAF, la eficiencia fotosintética disminuye porque aumenta la sombra que cae sobre el follaje

inferior (sombreamiento) y porque, al mismo tiempo, la respiración se incrementa. El IAF que corresponde a la máxima TCC se considera óptimo y debe tenerse en cuenta para establecer poblaciones óptimas de arroz (Jarma et al., 2010).

Un cultivo de arroz que tenga una población alta y haya sido fertilizado con un alto nivel de nitrógeno puede lograr un IAF alto (10 o más); no obstante, este IAF tendría un efecto negativo en el rendimiento porque la respiración no es función lineal sino hiperbólica del IAF; por tanto, la fotosíntesis neta o la producción de materia seca permanecerían constantes aunque el IAF llegue a 10 (Yoshida, citado por Jarma et al., 2010).

Félix et al. (2012) en un trabajo realizado con tres variedades, observaron que el IAF óptimo para Caiapó y BRS se alcanzó de 55 y 67 días después de la emergencia respectivamente, siendo máxima la TCC (188,36 kg/ha/día y 189,28 kg/ha/día, respectivamente). Para el cultivo Marvel, el IAF óptimo se alcanzó después de 75 días post. emergencia, cuando la TCC fue máxima (160,36 kg/ha/días). Los mayores valores de TCC y la mayor productividad (6010 Kg/ha) fueron obtenidos por el cultivar BRS Primavera, a pesar de no haber presentado el mayor IAF (4,3), indicando que este cultivar fue más eficiente fotosintéticamente, cuando se compara con el cultivar Caiapó (4157 Kg/ha), que presentó mayor IAF (5,8), lo que puede estar asociado a características propias en donde el primer cultivar pertenece al grupo con plantas de porte medio y hojas menos decumbentes, en relación a las plantas de Caiapó, perteneciente al grupo de plantas de porte alto, hojas decumbentes y crecimiento exuberante.

Pérez de Vida y Ramírez (2012) presentaron valores promedio de TCC de 250, 302, 231 y 270 Kg/ha/día que se correspondieron con valores de IAF a 50% de floración de 5,72; 7,15; 4,12 y 5,12 respectivamente. Estas TCC y valores de IAF determinaron que los rendimientos del cultivo fueran de 12141, 13075, 8155 y 9846 Kg/ha respectivamente, en donde los dos primeros se corresponden a la zafra 2010/2011 y los dos últimos a la zafra 2011/2012 para los mismos cultivares.

2.3 PRODUCCIÓN DE BIOMASA

2.3.1 Relación de la producción de biomasa y el rendimiento del cultivo

El rendimiento de grano de arroz depende ampliamente de la producción total de materia seca y de la distribución de ésta hacia los granos. La producción total de materia seca se logra en dos fases diferentes de la vida de la planta: la prefloración y la posfloración. La cantidad de materia seca acumulada proporcionalmente en estas dos fases varía con la duración tanto del ciclo de vida de cada variedad como de las condiciones ambientales en que la variedad se desarrolla (Jarma et al., 2010).

Maqueira et al. (2009) recalcaron que a mayor producción de materia seca total, mayor rendimiento, en donde se resalta que la distribución de la materia seca dentro de la planta juega un papel importante en la determinación del rendimiento. El mayor rendimiento agrícola está asociado a un crecimiento más precoz y de mayor magnitud, atendiendo a la materia seca de la parte aérea de las plantas por unidad de superficie. Se destaca la fase de maduración como la de mayor producción de materia seca, sobre todo por la panícula hacia donde es translocada gran cantidad de fotoasimilados (Maqueira et al., 2007)

La acumulación de materia seca es característica del genotipo y también se ve influida por factores ambientales. Se han observado diferencias en el rendimiento de grano entre las plantas o genotipos que tienen la misma cantidad de materia seca, debido a que existen diferencias en la utilización de fotosintatos entre ellos (Fageira, 2007).

Según Jarma et al. (2010) en las etapas anteriores a la floración, es fundamental que la planta de arroz reciba una adecuada radiación solar para que su tasa fotosintética sea óptima y concuerde con el desarrollo del dosel de follaje. En donde las sustancias producidas en las hojas que sean fotosintéticamente activas se almacenan en éstas o se traslocan a otros órganos (por ejemplo, las raíces o los tallos).

Jarma et al. (2010) destacaron que después de la floración es donde se produce el 90% de la materia seca acumulada en los granos; el 10% restante proviene de los tallos y de las hojas, donde se acumuló antes de la floración.

De acuerdo a evaluaciones anteriores sobre las variedades en estudio, se observan diferencias en cuanto a la velocidad de crecimiento de los cultivares, la cual es evidente y concuerda con lo que se conoce de sus ciclos ya que es interesante el gran incremento en biomasa que realiza INIA Merín en etapas reproductivas, mientras que SLI 09197 se encuentra en un intermedio, debido a que continúa creciendo a un ritmo más uniforme (Marchesi, 2017).

2.3.2 Partición de la materia seca

La cantidad de energía solar recibida por el cultivo, desde el inicio de la formación de la panícula hasta su maduración, es esencial para la acumulación de materia seca, cuyo incremento en dicho período se relaciona con el rendimiento. Además se señala la existencia de correlaciones entre estas variables (López, citado por Díaz et al., 2013). Asimismo la translocación de carbohidratos juega un rol fundamental al inicio del llenado de granos, y actúa como buffer cuando un estrés limita la capacidad fotosintética. Cuando la demanda de los destinos supera la capacidad de producción de fotoasimilados, la removilización de sustancias de reserva del tallo aporta a esa demanda (Tang et al., 2007).

Maqueira et al. (2015) en un trabajo donde se analiza la partición de la materia seca, destacaron que independientemente del cultivar y de la fecha de siembra, en el tercer y segundo entrenudo es fundamentalmente donde se observan los mayores valores de materia seca acumulada, además, también es en estos dos órganos donde se aprecia una mayor disminución de la materia seca desde la antesis hasta los 20 días después de la misma. Esto demuestra que ambos órganos se comportan como sumideros de almacenamiento temporal de fotoasimilados antes de la floración. En el caso de las vainas la disminución de la materia seca estuvo influenciada principalmente por la fecha de siembra y en la lámina de la hoja bandera los valores de materia seca se mantuvieron constantes durante todo el período. Por lo tanto el aumento en el tamaño de la fosa, producto de una mayor cantidad de materia seca acumulada en la panícula pudiera ser la causa de la disminución de la materia seca en los distintos órganos anteriormente mencionados.

De esta manera la mayor asociación con el rendimiento estuvo dada por la materia seca del tercer y segundo entrenudo en el momento de la antesis, por lo que se infirió que ambos órganos son los que más tributan al llenado de los granos con un aporte considerable a la formación del rendimiento (Maqueira et al., 2015).

Kato et al. (2006) en un trabajo realizado con el objetivo de evaluar el efecto de la restricción del sumidero sobre la partición de la materia seca a los órganos de la planta de arroz durante la maduración, observó el reparto y acumulación de carbono y nitrógeno en una línea estéril femenina FS1, que tiene panículas intactas con sólo unos pocos granos fértiles, en comparación con los de una contraparte normal Fujisaka 5. FS1 produjo una mayor cantidad de materia seca que Fujisaka 5. Sin un cambio de peso seco de la panícula durante todo el período de maduración, FS1 aumentó el peso seco de los tallos y las vainas de las hojas en la etapa temprana y de las últimas en la última etapa. Las cantidades de materia seca divididas en panículas, tallos más vainas foliares y macollos tardíos en FS1 fueron comparables a las cantidades en Fujisaka 5 en la madurez, lo que indica que los dos últimos órganos funcionan como un sumidero de materia seca para sustituir las panículas. Los resultados también sugirieron que los tallos y las vainas de las hojas sustituyen a las panículas en la función de sumidero en la etapa temprana de maduración, y los macollos tardíos funcionan como un sumidero en la última etapa. La restricción del sumidero de panículas podría afectar la acumulación de nitrógeno así como la partición de materia seca.

2.3.3 Relación de la producción de materia seca y el índice de área foliar

Jarma et al. (2010) mencionaron que la producción de materia seca en la planta de arroz está estrechamente relacionada con su área foliar. En donde los máximos valores de esa producción se registran exactamente en el

momento en que se inicia el macollamiento. Los índices de área foliar máximos que se alcanzan en ese tiempo corresponden al desarrollo total del dosel de follaje de la planta. Por lo tanto cuando el IAF es alto se espera una alta acumulación de materia seca (Santos et al., citados por Villalba et al., 2017).

Además Sharma y Singh, citados por Jarma et al. (2010) hacen mención a que si los tallos o la panícula crecen bien y si aumenta el índice de masa foliar (masa de las hojas respecto a la masa total de la planta) durante la floración, se obtendrá un balance muy favorable entre fotosíntesis y respiración y en consecuencia, la producción de materia seca será mayor que cuando no se cumplen esas condiciones. Existe una relación lineal entre la producción de materia seca y la radiación solar fotosintéticamente activa que es interceptada por un manto foliar cuyo IAF va de 9,8 a 12,7 (Kiniry et al., citados por Jarma et al., 2010).

2.4 ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF)

2.4.1 Generalidades del índice de área foliar

El IAF de una comunidad de plantas corresponde a la superficie de su hoja con respecto al área de suelo ocupada por el follaje (Garcés y Restrepo, 2015).

Diversas variables fisiológicas son utilizadas con el objetivo de explicar y entender las diferencias de comportamiento de las especies vegetales. La más utilizada es el índice de área foliar (IAF), que mide la intensidad de competición por luz entre plantas individuales, dentro de una población (Taiz y Zeiger, citados por Álvarez et al., 2012).

Según Santos y Costa, citados por Álvarez et al. (2012) la productividad de granos normalmente aumenta con el IAF cuando no ocurre limitación de agua en el suelo, lo que coincide con Dos Santos et al. (2017) los cuales manifiestan que cuanto más rápido el cultivo alcance el IAF máximo, y cuanto más tiempo el área foliar permanezca activa, mayor será la productividad de granos.

2.4.2 Productividad varietal con respecto al índice de área foliar

Maqueira et al. (2007) establecieron que es en la etapa de floración donde se alcanza la mayor superficie foliar por área de suelo en el cultivo del arroz, pues en ella se tiene un alto número de tallos y mayor cantidad de hojas activas por planta, lo que coincide con Garcés y Restrepo (2015), los cuales mencionan que para las tres fechas de siembra que evaluaron y para ambos cultivares en estudio, el IAF máximo se alcanzó cerca de la etapa de desarrollo floral, con valores entre 6 y 7.

La mayor expresión del rendimiento en los cultivares resulta de obtener un IAF a 50% floración entorno a 6, generalmente aceptado como IAF óptimo. El desarrollo de un IAF óptimo es función del tipo de planta y su arquitectura, por lo que dicho valor de IAF se obtiene con densidades de plantas diferentes (Pérez de Vida y Ramírez, 2012).

Estudios realizados por Álvarez et al. (2012) demostraron que los cultivares BRS Caiapó y Primavera alcanzaron un IAF máximo de 5,8 m² y 4,3 m² hojas/m² suelo, respectivamente. Después de alcanzar el IAF máximo se observó disminución de estos valores para todos los cultivares, alcanzando valores cercanos a 1. La reducción del IAF al final del ciclo, se debe a la reducción del área foliar útil con la senescencia de la planta, muerte y caída de hojas (Pinheiro et al., citados por Álvarez et al., 2012).

El IAF óptimo se alcanza cuando la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) es máxima. Los mayores valores de TCC fueron obtenidos por el cultivar BRS Primavera, a pesar de no haber presentado el mayor IAF, lo que indica que este cultivar fue más eficiente fotosintéticamente al ser comparado con Caiapó, que presentó mayor IAF, lo que puede estar asociado a características propias del cultivar.

Además en este trabajo se constató que el cultivar Caiapó (menos productivo) fue el que presentó mayores valores en cuanto al IAF, si se compara con los demás cultivares, de 39 días post. emergencia (dpe.) a 102 dpe., y, a partir de los 102 dpe., estos valores fueron superados por el cultivar Maravilla (también, menos productiva), manteniendo este nivel hasta el final del ciclo. Por lo tanto en ausencia de deficiencia hídrica, un alto IAF no es garantía de alta productividad, principalmente cuando está asociado a la alta pluviosidad y nebulosidad, en el período reproductivo. Además, altos IAF pueden significar autosombreado y reducción en la tasa fotosintética media por unidad de área foliar (Campos et al., citados por Álvarez et al., 2012).

Charry et al. (2016) demostraron que en la localidad de Monteiro el IAF de todos los genotipos estudiados se incrementó a partir de la etapa de máximo macollamiento (entre 35 y 42 días después de la emergencia) hasta alcanzar su mayor valor, el cual para F. Mocará y F. 473 ocurrió en la etapa lechosa del grano (98 dpe.) y para F. Caracolí en la etapa pastosa (105 dpe.); después de este punto se redujo. Por otra parte la respuesta de San Bernardo del Viento fue similar a la descrita para Monteiro, pero a diferencia de que el máximo IAF se alcanzó en la etapa de desarrollo de la panícula.

Además Los tres materiales estudiados, sembrados en Monteiro y San Bernardo del Viento, presentaron un aumento del IAF hasta floración con tendencia a decrecer un poco después de la misma, en donde los valores de

IAF alcanzados se mantuvieron en el rango considerado como óptimos para el cultivo, siendo entre 4 y 8 (Riveros, citado por Charry et al., 2016)

Maqueira et al. (2010) presentaron resultados similares, en donde las variedades de ciclo corto obtuvieron mayores rendimientos, los cuales atribuyeron a mayores valores de IAF alcanzados por estas variedades, siendo éstos en general superiores a 4, en donde los valores máximos estuvieron entre 7 y 8. En otro experimento Garcés y Restrepo (2015) obtuvieron valores de IAF máximo cerca de la etapa de desarrollo floral de 6,80 y 6,98 para las variedades F50 y F733 respectivamente.

2.4.3 Incidencia del clima, variedad y nutrición mineral sobre el índice de área foliar

Según Díaz et al. (2013) en un trabajo realizado sobre cuatro variedades de arroz de diferentes orígenes, los cultivares tradicionales de porte alto como Bluebonnet-50 y con ángulos de la hoja horizontales tienen un menor aprovechamiento de la intensidad luminosa. Por esta razón, se recomiendan las variedades con tallos y hojas erectas, en este caso con similares características que J-104 y Suweon-294 que evitan el sombreado recíproco y así interceptan más la luz solar para una mejor fotosíntesis y consecuentemente mejores rendimientos. La selección de cultivares con hojas bandera erectas, ángulo agudo y panojas que no sobresalgan en exceso a la hoja bandera a modo de minimizar la sombra de las hojas superiores durante la fase de maduración, son también caracteres deseados (Chaudhary et al., 2003).

Por otra parte otros autores señalan que un porte con hojas erectas es un carácter agronómico importante para producir altos rendimientos porque este tipo de plantas soporta una alta densidad de siembra y los nudos basales de la plantas perciben mayor radiación solar ante estas condiciones de cultivo. Las hojas erectas son causadas por un gen que confiere insensibilidad a las hormonas del grupo brasinoesteroides que regula la división y la diferenciación celular. Existen varios tipos de genes que se emplean actualmente en el mejoramiento de arroz para regular la arquitectura de la planta (Olmos, 2006).

En cuanto a los factores climáticos Garcés y Restrepo (2015) señalaron que la radiación solar y la temperatura mostraron una influencia positiva significativa en la producción de materia seca y el IAF del arroz. Los valores de elasticidad fueron más altos para la radiación solar, lo que indica que un cambio en la energía solar, tiene un mayor impacto en el IAF que un cambio en la temperatura. Otras variables climáticas como la humedad relativa no mostraron una correlación significativa con la biomasa y el IAF.

De acuerdo a la nutrición mineral del cultivo, el nitrógeno (N) incrementa más que otros nutrientes el área foliar, pero hay que aplicarlo con cuidado para no exceder los valores críticos del mismo. El N aplicado en una época que no

es oportuno hacerlo puede aumentar la producción de biomasa sin aumentar el rendimiento en grano. Además la duración del área foliar es mayor cuando hay mucho nitrógeno disponible para la planta al iniciarse la formación de la panícula (Jarma et al., 2010). Una deficiencia de N en la planta acelera el envejecimiento de las hojas y acorta el período de llenado de los granos; estas hojas se envejecen, entre otras razones, porque el nitrógeno que contienen se moviliza para atender la demanda que hacen los granos de este nutriente (Riveros y Rodríguez, 2010).

2.5 ÍNDICE DE COSECHA (IC)

2.5.1 Índice de cosecha y rendimiento del cultivo

El índice de cosecha de grano es la proporción de grano para el rendimiento biológico sobre el suelo. El índice de cosecha de grano se controla mediante partición de fotosintatos entre la cosecha y no cosecha de órganos durante el ciclo de crecimiento del cultivo. Por lo tanto, el rendimiento económico está estrechamente relacionado con el proceso de crecimiento de los cultivos. El rendimiento de grano o rendimiento económico se pueden aumentar, ya sea por aumento de la producción total de materia seca, o bien aumentando el índice de cosecha de grano (Fageira, 2007).

La característica que más ha contribuido a aumentar el potencial de rendimiento de los cultivos de arroz es la capacidad de sus plantas de destinar al rendimiento agronómico una fracción de la producción de materia seca proporcionalmente mayor que otros cultivos; de este modo, la planta reduce la cantidad de fotoasimilados que debe invertir en estructuras vegetativas. La relación entre la biomasa de los órganos cosechables (rendimiento agronómico) y la biomasa total (rendimiento biológico) se denomina índice de cosecha (IC, Jarma et al., 2010).

Kiniry et al., citados por Jarma et al. (2010) obtuvieron también información que señala al IC como el carácter que más se asocia con la diferencia de rendimiento entre los cultivares, por lo tanto consideran que el IC es un carácter crítico en la selección de genotipos de alto rendimiento. En donde se hace referencia a que los valores de IC en cultivos comerciales varían entre 0,36 y 0,52 (Fageira et al., citados por Sandoval et al., 2017).

Según Fageira (2007) al evaluar el IC a dos tasas distintas de N, observó que el aumento global de IC con la aplicación de 400 mg de N kg⁻¹ fue 19% en comparación con 0 mg de N kg⁻¹ del suelo. Este varió de 0,36 a 0,52 en la tasa baja de N y de 0,44 a 0,57 en la tasa alta de N.

2.5.2 Factores del ambiente y la planta que inciden en el índice de cosecha

El IC del arroz es influenciado por la duración de las etapas de desarrollo de la planta y (así como el rendimiento) por factores del ambiente.

Una variedad puede tener la capacidad para destinar una cantidad proporcionalmente grande de los productos de fotosíntesis a la formación de panículas, espiguillas y granos; sin embargo, no podrá lograrlo si no se dan las condiciones de radiación solar, de temperatura, y de disponibilidad de agua y nutrientes apropiadas (Riveros y Rodríguez, 2010).

De acuerdo con Fageira y Baligar, citados por Sandoval et al. (2017), los valores más altos de índice de cosecha de grano están relacionados con una mayor eficacia de la translocación de fotosintatos. Considerando los efectos aislados de las tasas de N, fue posible observar que las variaciones en el índice de cosecha se ajustaron a un modelo cuadrático, en donde el punto máximo se obtuvo entre los 70 y 80 kg N/ ha, muy por debajo de lo observado para los otros parámetros evaluados (número de macollos por maceta, altura media de la planta, materia seca de los brotes, materia seca de 100 granos llenos), lo que refuerza la idea de que el exceso de N podría atribuirse a un desequilibrio en el crecimiento de la planta y el fitomejoramiento (Sandoval et al., 2017).

Por lo tanto, entre las fuentes de N (urea, sulfato de amonio y sulfamo), el índice de cosecha varió de 0,41 a 0,43. Sin embargo, las fuentes de N, que determinaron el aumento de la materia seca de los brotes, fueron las mismas, que también presentaron los valores más altos para el IC, así como para la materia seca de 100 granos llenos. Esto corrobora la idea de que cuanto mayor es la absorción de N que se observó con sulfato de amonio, mayor es el crecimiento vegetativo, lo que genera un desequilibrio en la distribución de los fotosintatos, que genera granos más pequeños y menor IC (Sandoval et al., 2017).

Además del factor nutricional, el IC es influenciado por la densidad de siembra, en donde a medida que la misma aumenta más allá de un nivel crítico, el IC decrece, ya que para un ambiente dado, hay una densidad de siembra óptima que permite tener un alto rendimiento en grano (Riveros y Rodríguez, 2010).

2.6 RENDIMIENTO

2.6.1 Generalidades de la formación del rendimiento

El rendimiento potencial es, en cierto modo, la estimación más optimista del rendimiento de los cultivos basándose en el conocimiento actual y el material biológico disponible, bajo una gestión ideal del cultivo, en un entorno físico óptimo (Fageira, 2007).

El potencial de rendimiento de las variedades del grupo indica aumentó en los años 60 porque los fitomejoradores cambiaron el tipo de planta, es decir, seleccionaron caracteres morfológicos asociados con una alta eficiencia en la utilización de los recursos. En donde los primeros caracteres que se

modificaron fueron la altura de planta y la orientación de las hojas, así de esta manera disminuyó la susceptibilidad al vuelco de las variedades altas con la fertilización nitrogenada requerida para obtener altos rendimientos y además aumentar la eficiencia en el uso de la radiación solar (Riveros y Rodríguez, 2010).

El rendimiento de arroz es la función del efecto integrado de los componentes del rendimiento, que se ven influenciados de manera diferente por las condiciones exógenas y endógenas. El rendimiento de arroz depende de muchos factores, como el número de panículas, el número de granos y el peso del grano. Todos los factores de rendimiento dependen de la energía disponible para producir arroz. Numerosos intentos de aumentar uno o más de estos factores han llevado a la desilusión porque a menudo, como un factor es mayor, otro se reduce (Baksh et al., 2017). Por lo tanto el potencial de rendimiento de una variedad de arroz está determinado por la existencia de un buen equilibrio entre los componentes del rendimiento de las plantas (Castillo et al., 2011).

El nivel de productividad que se establece según la estimación realizada para las condiciones locales (PAR promedio de 8,71 a 9,07 Mj/m²/día) permite concluir un nivel de productividad esperable de entre 10 y 11 t/ha, con un IC de 0,50 a 0,55 (Pérez de Vida, 2011b).

2.6.2 Antecedentes de los cultivares INIA Merín y SLI09197

El cultivar SLI09197 (INIA Cuaró/FL00144-1P-24-1P) ha sido evaluado desde la zafra 2009-2010 hasta 2012-2013 en ensayos internos (estadios 1 a 3) del programa de mejoramiento genético en la Unidad Experimental Paso de la Laguna de INIA Treinta y Tres (UEPL) y desde la zafra 2013-2014 en ensayos de "Evaluación Final" incluyendo distintas fechas de siembra en UEPL y localizaciones (Tacuarembó y Artigas), en "Red Nacional de Evaluación de Cultivares" (INIA-INASE) y ensayos de fajas en diferentes regiones. En todos los casos se ha destacado por su productividad y resistencia a *Pyricularia*. Presenta valores de calidad molinera dentro del estándar de comercialización, y con dimensiones de granos pulidos muy similares a los de INIA Merín.

En ensayos de macro-parcelas (fajas) y condiciones de manejo similares a las comerciales, SLI09197 ha presentado resultados igualmente destacados en productividad y calidad molinera. En estas condiciones su rendimiento ha sido similar al de INIA Merín no diferenciándose estadísticamente, siendo éstos para las zafras 2014-2015 a 2016-2017 de 11,36 y 10,65 t/ha seco y limpio (SL) respectivamente. El porcentaje de blanco total y entero de este cultivar son superiores, lo que contribuye a un mayor rendimiento ponderado por calidad (Pérez de Vida et al., 2017a).

Respecto al comportamiento de la respuesta en rendimiento en grano a los factores evaluados (densidad y nitrógeno), la densidad no fue un efecto

significativo en el modelo ($p > 0,05$), como sí lo fue la fertilización nitrogenada; no existiendo interacción entre ambos factores. Siempre el testigo sin N tuvo bajos rendimientos siendo aproximadamente de 7000 y 7500 Kg/ha para INIA Merín y SLI09197 respectivamente. INIA Merín respondió al agregado de N, pero no mostró diferencias entre las dosis utilizadas, en donde se planteó la interrogante de si las dosis utilizadas (N0, índice de N 85-104, N 75 y N 113) fueron suficientes para que estas dosis expresen un mayor rendimiento ya que el rendimiento promedio fue de 8500 kg/ha. Por otra parte SLI09197 logró un mayor aumento de rendimiento con la mayor dosis de N utilizada (aprox. 9500 Kg/ha SL). De acuerdo al rendimiento alcanzado por INIA Merín, se encuentra muy por debajo de su potencial por lo que pudo darse un efecto negativo de las variables climáticas (Marchesi, 2017).

2.6.3 Componentes del rendimiento

Los componentes que determinan el rendimiento son las panojas por unidad de superficie, el número de espiguillas por panoja, el porcentaje de espiguillas llenas y el peso de los granos. Los estreses bióticos y abióticos en los distintos períodos reducen los rendimientos (Díaz et al., 2013). Se manifiesta la importancia del número de panículas/m², como la variable que influye en mayor medida en los rendimientos agrícolas (Castillo et al., 2011).

Castillo et al. (2011) evidenciaron un alto nivel de asociación existente entre la cantidad de granos por panícula, el peso de 1000 granos y la cantidad de panículas/m², con relación al rendimiento agrícola del cultivo del arroz. Además al analizar las variables número de granos/panícula y el peso de 1000 granos (PMG), se denota que los valores que alcanzan sus coeficientes de correlación respecto al rendimiento, son debido en mayor cuantía a su influencia indirecta a través del número de granos llenos/panícula, mientras que para el número de panículas/m², la mayor influencia indirecta fue a través de la cantidad de granos/panícula.

Condiciones limitantes de nitrógeno no tuvieron efectos significativos en los componentes del rendimiento, precocidad y porcentaje de grano entero. La aplicación de una dosis N50 permitió obtener aumentos significativos en el rendimiento, sin incidir en la esterilidad de la espiguilla (Quezada et al., 2013).

Con el empleo de un análisis multivariado, se pone de manifiesto la escasa relación entre las combinaciones que no incluían la aplicación de nitrógeno (N0) con la respuesta de la planta a través de las variables seleccionadas (No. de panículas/m², granos/panícula, PMG, rendimiento y altura de planta) demostrando la importante función que representan niveles adecuados de nitrógeno en el suelo. El otro extremo quedó plasmado cuando se aplicaron 150 kg/ha de nitrógeno con 120 kg/ha de semilla, en que las plantas no alcanzaron el máximo rendimiento, pero sí la mayor altura,

evidenciando que excesivas cantidades de este elemento en el suelo promueven mayor desarrollo vegetativo; pero no necesariamente trae aparejado mayor rendimiento agrícola (Castillo et al., 2011).

El cambio en la densidad de siembra en un rango de 80 a 170 Kg/ha no trajo aparejado un cambio en los componentes del rendimiento, en los cuales no se encontraron efectos significativos con respecto a la variación en el factor densidad, obteniendo en promedio 390 panojas/m², 95 granos/panoja, un peso de 1000 granos de 26g y una esterilidad promedio de 9 % para la variedad Fedearroz-50 (Jiménez et al., 2009).

2.6.3.1 Número de panojas por metro cuadrado

El principal componente que afecta el rendimiento es el número de panojas por superficie, que se establece durante el período vegetativo. En esta etapa el nitrógeno es fundamental para lograr un alto macollaje y acumulación de biomasa. El tamaño de la panoja es determinado durante el período reproductivo y el peso de los granos junto con la esterilidad es definida durante el llenado (Díaz et al., 2013).

No se obtuvieron diferencias significativas en este componente ocasionados por los factores cultivar, época de siembra y tratamiento de nitrógeno. La media de panículas por m² fue de 540, con variaciones entre los seis cultivares estudiados, en donde los parámetros van de 582 (Paso 144) y 518 panojas/m² L5502 (Pérez de Vida y Molina, 2011a).

Según Quezada et al. (2013) en un trabajo realizado con seis genotipos y dos dosis de nitrógeno (N0 y N50), el número de panículas/m² no registró diferencias significativas entre las dosis de N aplicadas, ni en la interacción N x G. Solo los genotipos mostraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$), con valores entre 267 a 400 panículas/m².

2.6.3.2 Número de granos por panoja

Al intentar maximizar los rendimientos se hace necesario incrementar el número de granos por unidad de área; esto se logra aumentando el número de panículas efectivas por m² o el número de granos por panícula (Jaramillo et al., 2002), en donde es posible aumentar el número de granos por unidad de área, aumentando en gran medida la absorción de nitrógeno en etapas desde estado de germinación de semilla hasta estado de diferenciación tardía de espiguillas (Matsuo, citado por Jaramillo et al., 2002).

La variable número de granos por panoja mostró un alto valor de correlación con la variable rendimiento en Kg/ha (0.67*). Se concluyó que fue la variable que intervino de manera más significativa en los incrementos obtenidos en el estudio realizado, en donde posiblemente otra variable de influencia fue el

número de panículas efectivas por m², variable que no pudo ser cuantificada (Jaramillo et al., 2002).

Según Rodríguez et al. (2002) el No. de granos llenos/panoja no fue afectado significativamente ($p=0,05$) por la densidad de siembra ni por la dosis de nitrógeno (N), en las variedades de arroz Fonaiap 1 y Cimarrón para dosis de nitrógeno de 150 y 200 Kg de N/ha y densidades de siembra de 150 y 200 Kg de semilla/ha.

Estos resultados sugieren que la respuesta del No. de granos llenos/panoja a las prácticas de densidad de siembra y fertilización nitrogenada, puede ser afectado por otros factores inherentes a las condiciones varietales y de la zona de producción (Rodríguez et al., 2002).

Pérez de Vida y Molina (2011a) en un experimento realizado obtuvieron un tamaño promedio de panículas de 119 granos (totales), en donde las variaciones significativas fueron causadas por el cultivar, tratamiento de nitrógeno y de este último con la fecha de siembra. Los cultivares indica, cuyo potencial en general se construye en un alto número de tallos fértiles por m², presentan los menores registros de granos por panoja.

El número de granos por panícula presentó una significativa respuesta al agregado adicional de nitrógeno realizado en el tratamiento de alto N (133 vs. 111 granos/panoja; $P=0,01$). En particular las mayores diferencias en la aplicación se dieron al estadio de elongación de entrenudos (primordio), lo cual efectivamente se evidencian en la obtención de panículas con mayor número de granos. La alta respuesta obtenida, en general, podría deberse a las condiciones climáticas favorables (alta radiación) durante el período de construcción de este componente. Los cultivares con mayor respuesta en rendimientos fueron aquellos en que su potencial está mayormente condicionado por dicho componente. Los genotipos índicas de más amplio desarrollo de canopia basado en un alto número de macollos por m² y panículas de menor número de flores, son los que tienen menor respuesta (Pérez de Vida y Molina, 2011a).

En un trabajo realizado por Quezada et al. (2013) con seis genotipos de arroz y dos niveles de nitrógeno (0N y 50N), señalaron que el número de granos por panícula presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre genotipos pero sin haber un efecto significativo de la dosis N50 ni de la interacción N x G. Los valores más altos fueron obtenidos por el cv. Brillante y Quila 232202, con 73 y 63 granos por panícula respectivamente.

Marchesi (2017) hace referencia a una respuesta positiva en el No. de granos/panoja en la variedad SLI09197 al aumento en la densidad de siembra.

2.6.3.3 Peso de mil granos (PMG)

La variable peso de 1000 granos presentó una correlación negativa con la variable rendimiento en Kg/ha (-0.48), esto se explica con el argumento que la compensación fisiológica de la planta al aumentar el número de granos por panícula es posiblemente la disminución del peso de sus granos (Jaramillo et al., 2002).

Este componente del rendimiento en arroz (PMG) se mostró como una característica determinada únicamente por la variedad (V) por cuanto no se detectó significación estadística para la densidad de siembra ni para la aplicación de nitrógeno. El PMG promedio para Fonaiap 1 se calculó en 28,97 g y el de Cimarrón en 25,06 g (Rodríguez et al., 2002).

Pereira y Almeida, citados por Rodríguez et al. (2002) señalan que valores de PMG de 28 a 29g están asociados a condiciones de siembras al voleo y a variedades con buena capacidad de rendimiento.

Según Quezada et al. (2013) el peso de 1000 granos no presentó diferencias significativas ($P \geq 0,05$) para nitrógeno, ni para la interacción nitrógeno por genotipo cuando se evaluaron seis genotipos y dos dosis de nitrógeno (N0 y N50). Sin embargo, se apreciaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) para genotipo, los valores más altos corresponden a los cv. Zafiro y Brillante, con pesos promedios de 36,27 y 35,4 g, respectivamente.

2.6.3.4 Porcentaje de esterilidad

Se ha demostrado que existe un comportamiento diferencial de los cultivares de arroz en cuanto a la respuesta de las aplicaciones nitrogenadas respecto al porcentaje de granos llenos y porcentaje de esterilidad. Generalmente la esterilidad de grano (factor que disminuye considerablemente los rendimientos en zona templada) es un desorden fisiológico influenciado por factores climáticos como radiación solar incidente y temperatura en el estado de meiosis temprana o inicio de diferenciación de primordio de panícula (Yoshida, citado por Jaramillo et al., 2002).

Si bien no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, existen diferencias numéricas que indican una posible tendencia de los materiales a ser más susceptibles a la esterilidad de grano al recibir dosis altas de nitrógeno de modo eficiente. La floración diferencial de los materiales influida por la aplicación de nitrógeno puede ser la causa por la cual los materiales no presentan una respuesta uniforme respecto a esta variable, ya que las condiciones climáticas que preceden a la etapa de meiosis temprana son factores determinantes en el vaneamiento de grano (Jaramillo et al., 2002).

El porcentaje de flores que no se concretaron en granos fue significativamente afectado por cultivar, época de siembra y su interacción. El

nivel de fertilización nitrogenada no afectó el % de esterilidad. La segunda fecha de siembra presentó valores superiores de esterilidad de granos (24,0%) frente a época 1 (15,7%) ($P=0,001$). Las menores variaciones en el % de esterilidad se obtuvieron en las variedades L5502 y Paso 144 (Pérez de Vida y Molina, 2011a).

Según Rodríguez et al. (2002) el % de esterilidad mostró significancia estadística con relación a la variedad ($p=0,01$), nitrógeno ($p=0,05$) y la interacción $V \times N$ ($p=0,05$), y al igual que los restantes componentes del rendimiento estudiados no se modificó por cambios en la densidad de siembra. La esterilidad en Fonaiap 1 se cuantificó en 17,85%, porcentaje estadísticamente superior ($p<0,01$) al 6,96% calculado para Cimarrón.

En Fonaiap 1, variedad con un valor alto de esterilidad, el incremento en la dosis de nitrógeno produjo un aumento significativo ($p=0,05$) del número de granos estériles por panícula, lo que no ocurrió en la variedad Cimarrón en la cual la aplicación de nitrógeno no afectó significativamente la esterilidad de la panícula. Además en las variedades con los más altos porcentajes de granos vanos/panícula, la aplicación de dosis de nitrógeno por encima de los 150 kg/ha contribuye a incrementar la esterilidad de la panícula, aun cuando las evidencias sugieren que tienden a compensarla con un mayor peso de No. granos llenos/panoja (Rodríguez et al., 2002).

Ortega, citado por Hirzel et al. (2011) en un estudio realizado en el centro de Chile con la variedad Diamante-INIA y diferentes tasas de N (0, 60, 120, 180 y 240 kg ha), menciona que la esterilidad se vio directamente afectada por la tasa de N aplicada, en donde los valores más altos se obtuvieron con 180 y 240 kg N ha. La esterilidad de las espiguillas fluctuó entre 9,4 y 16,1% en la temporada con temperatura normal durante la floración.

Garcés y Restrepo (2015) señalaron que altos porcentajes de esterilidad se deben a la radiación incidente durante las fases de reproducción y maduración. Lo que confirmaron en un estudio realizado en donde los dos cultivares evaluados ('F50' y 'F733') mostraron una gran susceptibilidad a condiciones de baja disponibilidad de luz en la etapa reproductiva, lo que causó un alto porcentaje de espiguillas estériles ($> 20\%$) para un rendimiento promedio de 7000 Kg/ha.

En un trabajo que abarcó seis genotipos y dos niveles de nitrógeno (N0 y N50), la interacción $N \times G$ fue significativa ($P \leq 0,05$) y el efecto del N generó un aumento de la esterilidad en las variedades Brillante, Zafiro y el genotipo Quila 223202, con valores en el rango de 9,70 a 13,03% para N0, y de 13,43 a 13,27% para N50. Sin embargo, los genotipos Quila 242101, Quila 242105 y Quila 156906, presentaron una disminución del porcentaje de esterilidad con valores de 7,03; 9,47 y 9,67%, respectivamente, para la dosis de 50 kg N/ha, lo

que puede estar asociado a respuestas diferenciales de los genotipos (Quezada et al., 2013).

2.6.4 Características agronómicas de la planta que inciden en el rendimiento

2.6.4.1 Macollaje

Una parte importante del rendimiento de grano es explicada por la variación en la densidad de panículas, indicando la importancia de la habilidad del macollaje de un determinado cultivar en la obtención de altos rendimientos por su efecto en la producción de panículas y relación lineal con el contenido de N (Quezada et al., 2013). El macollaje en arroz está asociado a la plasticidad de respuesta a la densidad de siembra ya que interfiere en el rendimiento (Acevedo et al., 2011).

Plantas de alta capacidad de macollaje, básicamente, se refiere al uso máximo de espacio y recursos. El macollaje tiene especial importancia en la virtud de la planta frente a un estrés biótico o abiótico, debido a los procesos de compensación. Cultivares de alto macollamiento compensan plantas a bajas densidades, pero cultivares que presentan limitada capacidad de macollaje carecen de esta plasticidad. Sin embargo, bajo condiciones ambientales favorables, los cultivares de alto macollamiento no tienen ninguna ventaja sobre los de bajo macollamiento en relación al rendimiento (Fageira, 2007).

Según Riveros y Rodríguez (2010) es posible que haya una relación estrecha entre macollamiento y rendimiento cuando se establecen poblaciones poco densas, especialmente si las plantas disponen de radiación solar, de nutrientes y de agua en abundancia y si, además, lo anterior ocurre hacia el final de la fase vegetativa y en la primera mitad de la fase reproductiva. En cambio, si la población de plantas es numerosa, no debe esperarse en ella una relación entre rendimiento y macollamiento, porque la mayoría de las panículas se habrá originado en el tallo principal de las plantas.

Las macollas estériles representan una economía de asimilados que pueden invertirse en la producción de grano. En todo caso, cierto grado de macollamiento es deseable porque puede ser necesario compensar por pérdidas de población (Evans, citado por Riveros y Rodríguez, 2010).

El número de macollos productivos depende de las condiciones ambientales durante la iniciación del capullo tímón y etapas de desarrollo posteriores. Numerosos estudios han demostrado que la aparición de tallos, aborto, o ambos se ven afectados por las condiciones ambientales. En los tres años de experimentación la correlación más alta (0,59-0,79) entre el macollamiento y el rendimiento se obtuvo al inicio de la etapa de crecimiento de la panícula. Esto significa que el número de macollos determinados en esta

etapa de crecimiento tuvo más importancia que en cualquier otra etapa de crecimiento en el arroz de tierras bajas (Fageira, 2007).

Uno de los criterios utilizados por los mejoradores para optimizar el desempeño fisiológico de la planta ideal es el excelente macollamiento, en donde las características que se buscan es que sean: tallos cortos, gruesos y fuertes; mayor número de macollas efectivas por unidad de área y por ende mayor número de panículas efectivas por unidad de área (Jennings, citado por Jaramillo et al., 2002).

Jiménez et al. (2009) determinaron que no hubo efecto de la densidad poblacional sobre el número de macollos/planta al variar la densidad de siembra de 80, 110, 140 y 170 Kg/ha, lo que probablemente se debió al método de siembra al voleo, siendo en promedio 4 macollos por planta.

2.6.4.2 Altura de planta

La altura de la planta es la distancia desde el nivel del suelo hasta la punta de la hoja más alta. Para las plantas maduras, que es la distancia desde el nivel del suelo hasta la punta más alta de la panícula. Es un rasgo importante ya que se asocia con el alojamiento de la planta (Fageira, 2007).

Fageira (2007) considera deseables alturas de planta corta (90-110 cm) y altura intermedia (100-130 cm). Alturas de planta extremadamente enanas no se consideran buenas. Debido a esto el rendimiento de grano aumenta cuadráticamente con el aumento en la altura de la planta.

La altura de la planta se ve influenciada por factores ambientales, pero es un rasgo controlado genéticamente, siendo alta la heredabilidad de enanismo. Un marcado aumento en el índice de cosecha y en el rendimiento de grano se ha asociado con la reducción de la altura de la planta y la madurez anterior (Fageira, 2007).

En un trabajo realizado por Quezada et al. (2013) con seis genotipos y dos dosis de N (N0 y N50) la altura de plantas presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$) para nitrógeno y genotipo, pero no para la interacción, con valores entre 50 y 59 cm para N0, y 56 a 70 cm para N50. Los genotipos Quila 242101 y Quila 242105 presentaron menor altura con la aplicación de 50 kg N/ha, lo que daría mayor resistencia al acame por vientos o lluvias. En cambio, el cv. Brillante exhibió mejor respuesta a la aplicación de N50, alcanzando una altura de 70 cm.

Utilizando cuatro densidades de siembra al voleo (80, 110, 140, y 170 Kg/ha) en la variedad Fedearroz-50 no hubo efectos significativos de la densidad sobre la altura de planta. Las distintas densidades no causaron detrimento de la altura de planta siendo en promedio para todas las densidades de 98 cm. Sin embargo tendió a disminuir al aumentar la densidad a 170 Kg/ha,

probablemente como consecuencia de la competencia intraespecífica entre las plantas del cultivo (Jiménez et al., 2009).

Koutroubas y Ntanos, citados por Quezada et al. (2013) determinaron que los cultivares de menor altura y madurez tardía tenían mayor rendimiento de grano y mayor eficiencia de uso del N.

2.6.5 Efecto de la dosis de nitrógeno y la densidad de siembra

Uno de los factores que influye en gran medida es la disponibilidad de nitrógeno ya que éste es uno de los principales reguladores de la productividad de la planta de arroz, forma parte de todas las proteínas y de muchos componentes no proteicos, siendo el nutrimento que más influye en los rendimientos del cultivo, considerándose como un factor limitativo de la producción (CIA, citado por Castillo et al., 2011).

La cantidad de N requerida por la planta varía de acuerdo a la fase de desarrollo y de las condiciones ambientales. El período de mayor absorción en la planta se ubica en las siguientes fases: (a) máximo macollamiento afectando el número de tallos por área y número de panículas; (b) fase reproductiva, inicio de floración afectando número de granos por panícula (Scivittaro y Machado, citados por Acevedo et al., 2011).

La respuesta del cultivo a la fertilización nitrogenada se ve afectada por el cultivar, el tipo de suelo y las fluctuaciones climáticas entre años, principalmente la temperatura ambiental. Además la estrategia de aplicación de N, equivalente al número y aplicaciones o divisiones de fertilización de este nutriente, también afecta la respuesta del cultivo a las tasas de N aplicadas, lo que permite el aumento de la eficiencia del uso de N (Jing, citado por Hirzel et al., 2011).

Páez, citado por Acevedo et al. (2011) pone de manifiesto que de acuerdo a la densidad de siembra, la semilla es otro insumo estratégico, la cantidad a ser utilizada en la siembra debe establecerse adecuadamente, de acuerdo al cultivar, a la época de siembra y al tipo de suelo. Este factor de manejo incide en la curva de crecimiento y desarrollo foliar, por lo que en densidades bajas, la mayoría de los casos pertenecen a grupos de menores productividades (Pérez de Vida y Ramírez, 2012).

Por lo tanto cantidades de semilla en el orden de 120 a 130 kg/ha, son suficientes para el establecimiento de una aceptable población de plantas en campo; así mismo, el uso de densidades superiores a la señalada trae consigo problemas relacionados con la competencia dentro del cultivo, determinando al final del ciclo plantas con menor desarrollo, escaso macollamiento y panículas más cortas que las de una planta normal (Páez, citado por Acevedo et al., 2011).

Pérez de Vida y Ramírez (2012) definieron que los cultivares estudiados, presentaron una respuesta en general positiva al incremento de la densidad de siembra en los rangos de 50 a 250 plantas/m². En estas situaciones los cultivares con menor crecimiento en estado vegetativo y reproductivo (inicio de primordio-floración) obtienen mayor productividad al incrementar la biomasa acumulada a floración.

Hirzel et al. (2011) obtuvieron resultados de que la división de la fertilización con N tuvo un efecto significativo ($p < 0,05$) en el rendimiento de grano, en donde los valores más altos se obtuvieron cuando la partición se realizó en (1) 33% N en siembra, 33% en macollaje y 34% en inicio de panícula y (2) 50 % N en la siembra y 50% en la iniciación de la panícula. Las aplicaciones de N en la etapa de partida mejoraron tanto el N acumulado en las panículas como el rendimiento de grano de arroz, lo que apoya la práctica de aplicar una fracción de la tasa de N en el momento del inicio de la panícula (Ida et al., citados por Hirzel et al., 2011)

Según Rodríguez et al. (2002) en un experimento realizado con dos variedades (Fonaiap 1 y Cimarrón) mostraron que el análisis factorial presentó significancia estadística para variedad ($p=0,01$), nitrógeno ($p=0,01$) y para la interacción VxN ($p=0,05$) sobre el rendimiento del cultivo. La información indicó que no existió variación en el rendimiento atribuible a la densidad de siembra.

El rendimiento de las variedades fue influenciado positivamente por el incremento de la dosis de nitrógeno. Adicionalmente, puede inferirse que aun cuando la variedad Fonaiap 1 mostró mayor producción, la variedad Cimarrón respondió en forma más favorable a la fertilización nitrogenada, lo que alude a un efecto del nitrógeno condicionado a las características varietales (Rodríguez et al., 2002).

Pérez de Vida y Molina (2011a) realizaron un trabajo donde se evaluó la potencialidad de la combinación de alta fertilización nitrogenada junto a la aplicación preventiva de fungicidas, en donde se utilizaron dos dosis de N total (77 y 114 Kg N/ha), siendo la densidad de siembra de 165 Kg/ha. Los resultados reflejan que el rendimiento fue afectado por el cultivar, el tratamiento de N, la época de siembra y la interacción de éstos dos últimos. El tratamiento de alto N, produjo un rendimiento promedio de 10 t/ha lo que fue significativamente superior al tratamiento de fertilización normal (N77 8,7 t/ha).

Además este trabajo muestra que existió interacción entre la época de siembra y el nitrógeno, lo que determina que la respuesta a nitrógeno está determinada por las condiciones en que se desarrolló el cultivo, directamente relacionado a las fechas de siembra (8 octubre y 23 de noviembre). Por lo tanto en la época 2 no hubo respuesta al agregado adicional de N (Pérez de Vida y Molina, 2011a).

Quezada et al. (2013) obtuvieron resultados en donde el rendimiento de grano presentó diferencias significativas para nitrógeno ($P \leq 0,05$), ya que con la dosis N50 se obtuvo un rendimiento promedio de 6,76 t/ha, con un incremento de 1,93 t/ha en relación a N0 con 4,83 t/ha. Además hubo interacción genotipo por nitrógeno para la dosis N50 en donde los mejores rendimientos fueron obtenidos por los cv. Brillante, Quila 223202 y Quila 242105, los que también mostraron un aumento en el número de panículas/m².

En un trabajo realizado por Castillo et al. (2011) con la variedad IAC-20, en donde se generó variabilidad por medio de tres dosis de nitrógeno (0, 80, 120 Kg N/ha) y tres densidades de siembra (85, 120 y 150 Kg/ha) denotaron que los rendimientos más bajos de este genotipo se alcanzan en los tratamientos carentes de nitrógeno, sin diferencias significativas entre ellos, independientemente de que a medida que se aumentó la densidad de siembra, estos ascendían. Mientras que los mayores rendimientos se alcanzaron con el empleo de la dosis de 120 kg/ha de nitrógeno, cuando la densidad de siembra fue de 150 y 120 kg/ha respectivamente, pero sin diferencias significativas entre estas dos densidades, superando estadísticamente a la densidad de 85 kg/ha.

Acevedo et al. (2011) realizaron un trabajo con el cultivar Centauro en donde la fuente de variación densidad de siembra resultó significativa ($P \leq 0,05$) en la localidad de Barinas, lo que permite indicar que el rendimiento en grano del cultivar Centauro presenta un comportamiento diferencial cuando se utilizan diferentes cantidades de semilla, caso contrario ocurrió en las localidades de Guárico y Portuguesa, donde esta fuente de variación resultó no significativa. Cuando se estudia la interacción de ambos factores el análisis detecta diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en las localidades de Barinas y Guárico, sugiriendo que la interacción de ambos factores afecta el rendimiento de granos en el cultivar, lo contrario ocurre en Portuguesa.

La variedad Centauro respondió significativamente a la fertilización nitrogenada a partir de los 120 Kg/ha, en donde los mayores rendimientos se obtuvieron con fertilizaciones de 120, 160 y 200 Kg /ha de nitrógeno para los estados de Portuguesa (5735 Kg/ha), Barinas (6100 Kg/ha) y Guárico (8059Kg /ha) respectivamente. De acuerdo a la densidad de siembra, los mayores rendimientos en las tres localidades se obtuvieron con la densidad de 80 Kg/ha, en cambio los menores rendimientos fueron causa de la mayor densidad de siembra, respuesta que se asociada probablemente al estrés debido a las enfermedades y la competencia entre plantas por la disponibilidad de N (Acevedo et al., 2011).

El cultivar Centauro responde satisfactoriamente al rendimiento de granos cuando se utilizan bajas densidades. Esto podría atribuirse a la alta capacidad de macollamiento, así como al mayor número de tallos fértiles y

mayor longitud de las panículas, y consecuentemente mayor número de granos (Acevedo et al., 2011).

2.6.6 Incidencia de factores ambientales

Según estudios, el número de días que transcurre entre la floración y el momento en que el grano alcanza su peso máximo es menor en las variedades índicas que en las variedades japónicas. Las bajas temperaturas alargan a menudo el período de maduración, para las variedades índicas, es posible que un período de maduración más largo sea favorable para la producción, por tanto existe la posibilidad de aumentar la cosecha de índicas alargando este período por selección genética. Una importante relación es la que se establece entre la intensidad luminosa recibida por la planta y el rendimiento. La intensidad de la luz tiene un papel primordial en el período de formación del grano, se sabe que se origina la acumulación de reservas en el grano a partir de los productos fotosintetizados en esta etapa (Díaz et al., 2013).

Según Singh, citado por Díaz et al. (2013), en el arroz hay una fórmula que establece que a mayor intensidad de radiación solar después de la floración mayores serán los rendimientos. Díaz et al. (2013) corroboraron las consideraciones hechas anteriormente analizando las variedades J-104 y Suweon-294 que fueron las de mejor comportamiento al evaluar la intensidad luminosa y además las que mostraron los mayores rendimientos respectivamente. Estas variedades aunque son originarias de Cuba y Corea respectivamente tienen en común características del tipo índica y fueron evaluadas en Japón bajo condiciones óptimas de cultivo, favorables para expresar su potencial.

Se conoce que la eficiencia del proceso fotosintético depende de factores ambientales como humedad, temperatura e intensidad lumínica. La planta ajusta su eficiencia fotosintética a la máxima intensidad de luz, temperatura, estado de desarrollo, factores genéticos y a la apertura y cierre estomáticos dependientes de la dinámica del continuo suelo-planta-atmósfera (Tofiño et al., 2007).

Según Katsura et al., citados por Díaz et al. (2013) señalaron que la radiación incidente en Yunnan (China) no es elevada (17 Mj/m²/día) si se compara con otros sitios de alto rendimiento como Yanco en Australia (23 Mj/m²/día); pero un rápido crecimiento inicial, con un alto índice de área foliar y buena dotación de N posibilitan una gran intersección y buena conversión de la radiación incidente. En Yunnan los altos rendimientos han sido relacionados con un extenso ciclo de cultivo, junto con una alta tasa de crecimiento, mientras que en Yanco, fue como resultado de una elevada radiación solar.

Algunos autores al evaluar diferentes ambientes afirman que la temperatura, la humedad relativa y la radiación solar fueron las principales

variables ambientales que afectaron la calidad del arroz. Es frecuente la ocurrencia de bajos rendimientos en los años de poca luz solar causada por condiciones de nublado y lluvia, estas condiciones también producen plantas más altas (Hirai et al., citados por Díaz et al., 2013).

En trabajos desarrollados en el Este de Uruguay se ha constatado que ocurre una disminución en radiación disponible para llenado de granos en la medida que se atrasa la fecha de siembra, lo que supone exponer el cultivo a un ambiente productivo más carente de recursos. La disminución en la energía fotosintética disponible para el llenado de granos podría ser parcialmente compensada por la acumulación de reservas de carbohidratos en tallos y vainas en prefloración, en cultivares con esta capacidad. Se conocen reportes de cultivares que traslocan eficientemente dichas reservas durante el llenado de granos contribuyendo a este proceso en hasta 30 a 40 % (Pérez de Vida, 2010).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN

Estación experimental del Este (INIA Treinta y Tres) a 28 km al Este de la ciudad de Treinta y Tres. Esta se encuentra entre las siguientes coordenadas: latitud 33° 14' Sur y longitud 54° 22' Oeste, con una altitud m.s.n.m de 25m.

Los suelos sobre el cual se condujo el ensayo se corresponden a un Brunosol Subéutrico Lúvico con fase hidromórfica y un Solod Melánico, pertenecientes a la unidad "La Charqueada" de MGAP. DSF (2001). Estos integran una secuencia rotacional de 5 años, siendo cabeza de rotación arroz y luego 3,5 años de pasturas mezclas, quedando el resto del tiempo en barbecho. El área experimental pertenecía a la sección de manejo de arroz del programa nacional de arroz de INIA.

3.2 DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

El experimento se basó en el estudio de dos cultivares de arroz, con cuatro niveles distintos de densidad de siembra y fertilización nitrogenada, realizándose muestreos destructivos y determinaciones en las distintas etapas fenológicas del ciclo del cultivo: implantación, macollaje, primordio, 50% floración, llenado de grano intermedio (20 días después de 50% floración) y madurez fisiológica. Las determinaciones realizadas tuvieron en cuenta la evolución del macollaje a lo largo del ciclo de los cultivos (No. de tallos), área foliar, materia seca total en cada estadio y su correspondiente partición en: tallo, vaina, lámina y panoja.

Los cultivares utilizados fueron INIA Merín y SLI09197, ambos de biotipo índica, caracterizados por su alta productividad, un similar ciclo a floración y cosecha. Son de grano largo, fino, con una relación largo ancho igual o superior a 3, siendo muy similares en cuanto a sus características molineras. Se diferencian en la estructura de planta, ya que INIA Merín presenta una arquitectura de tipo columnar, macollaje intermedio y un desarrollo foliar moderado, mientras que SLI09197 se caracteriza por un amplio macollamiento, un desarrollo foliar erecto abundante y menor altura de planta.

El ensayo se sembró el día 7/10/2016 sobre laboreo convencional, realizado con un día de anterioridad con cuatro densidades de siembra, siendo el objetivo alcanzar 195, 325, 488 y 650 semillas viables/ m² para D1, D2, D3, y D4 respectivamente.

Por lo tanto se corrigió cada densidad objetivo a partir del porcentaje de germinación y el peso de mil semillas de cada cultivar, obteniendo distintas densidades en Kg/ha para cada material.

Densidad 1: INIA Merín 69 Kg/ha y SLI09197 67 Kg/ha

Densidad 2: INIA Merín 116 Kg/ha y SLI09197 112Kg/ha

Densidad 3: INIA Merín 174 Kg/ha y SLI09197 169 Kg/ha

Densidad 4: INIA Merín 232 Kg/ha y SLI09197 225 Kg/ha

La semilla fue curada por la unidad de semillas con tebuconazol y thiametoxam a razón de 100 y 200 cc cada 100 kg de semilla respectivamente. La siembra fue realizada en método lineal, con una sembradora Semeato de 9 hileras y 0,17 m entre las mismas. La unidad experimental (una densidad y un nivel de nitrógeno) constaba de una superficie de 15,3 m² (9 hileras y 10m de longitud). La emergencia para ambos cultivares comenzó el 24/10/16.

La fertilización basal se realizó el día 11/10/16, en donde se fertilizó con 107 Kg/ha de 5-25/25-25+5S al voleo con máquina. Seguidamente se diferenciaron los tratamientos con cuatro niveles de nitrógeno 0, 55, 75 y 112 Kg N/ha para N1, N2, N3 y N4 respectivamente. La definición de la dosis de N3 fue según las dosis mencionadas por Pittelkow et al. (2016) utilizada en los últimos años en Uruguay por los productores de punta. Sobre este cálculo, el N4 utilizó un 50% más de N. Por último, para el cálculo de N2, se tomó como referencia la información generada en INIA para manejo de N (Castillo et al., 2014), siendo corregido el efecto antecesor según los coeficientes del software Fertiliz-Arr (Castillo et al., 2015). El tratamiento de N2 sólo llevó urea a macollaje a diferencia de N3 y N4 en donde la dosis de N se dividió en una relación de 60 % a macollaje y 40 % a primordio. El análisis de PMN indicaba 14 y 9 mg/Kg de suelo para Merín y SLI09197 respectivamente, realizando la aplicación a macollaje el día 22/11/2016 para ambos cultivares y la aplicación a elongación de entrenudos fueron los días 2/01/17 y 3/01/17 para SLI09197 y Merín respectivamente.

El control de malezas se efectuó mediante dos aplicaciones de herbicida, una como pre. emergente y la otra post. emergente. La primera se realizó el 12/10/2016 utilizando una mezcla de glifosato con clomazone a una dosis de 3 y 0,7 l/ha. La segunda se efectuó el 16/11/16 y la mezcla estaba compuesta por: 3,5 l/ha de propanil, 2 l/ha de quinclorac + 50 gr/ha de pirazosulfuron-etil.

El comienzo de la inundación de los cultivos se diferenció en un día para ambos cultivares, siendo el 22/11/16 para SLI09197 y el 23/11/16 para INIA Merín, manteniéndose la capa de agua permanente hasta madurez fisiológica.

No se realizaron aplicaciones fitosanitarias, en todo el ciclo del cultivo. Ambos cultivares son resistentes a la *Pyricularia oryzae*.

3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental del ensayo se basó en parcelas divididas en bloques completos al azar (DBCA). Este consistió de cuatro bloques, con cuatro parcelas grandes correspondientes a los cuatro niveles de nitrógeno, y a su vez dentro de cada una de éstas se aleatorizaron otras cuatro parcelas correspondientes a cada densidad de siembra. Por lo tanto, el ensayo consta de 16 tratamientos y 64 unidades experimentales para cada cultivar. La elección del diseño experimental se basó principalmente en cuestiones operativas en cuanto a la fertilización nitrogenada y el sistema de riego.

Para cada cultivar los cuatro bloques ocuparon una superficie de 2146 m², compuesta por las parcelas, taipas y caminos. Las dimensiones de las parcelas utilizadas fueron de 1,53 m de ancho (9 hileras x 0,17m/hilera) y una longitud de 10m.

INIA Merín

B1				B2				B3				B4			
N3	N3	N3	N3	N4	N4	N4	N4	N1	N1	N1	N1	N4	N4	N4	N4
D1	D3	D4	D2	D1	D3	D4	D2	D1	D4	D3	D2	D1	D2	D4	D3
13	14	15	16	29	30	31	32	45	46	47	48	61	62	63	64
N2	N2	N2	N2	N1	N1	N1	N1	N2	N2	N2	N2	N3	N3	N3	N3
D3	D4	D2	D1	D3	D4	D2	D1	D2	D3	D1	D4	D3	D4	D1	D2
9	10	11	12	25	26	27	28	41	42	43	44	57	58	59	60
N4	N4	N4	N4	N3	N2	N2	N2	N2							
D1	D3	D2	D4	D1	D2	D3	D4	D3	D4	D1	D2	D1	D4	D2	D3
5	6	7	8	21	22	23	24	37	38	39	40	53	54	55	56
N1	N1	N1	N1	N2	N2	N2	N2	N4	N4	N4	N4	N1	N1	N1	N1
D3	D4	D1	D2	D3	D1	D4	D2	D4	D2	D1	D3	D4	D2	D3	D1
1	2	3	4	17	18	19	20	33	34	35	36	49	50	51	52

Figura No. 1. Plano del diseño experimental (parcelas divididas en DBCA) según tratamiento para INIA Merín.

SLI 09197

B1				B2				B3				B4			
N1	N1	N1	N1	N4	N4	N4	N4	N1	N1	N1	N1	N3	N3	N3	N3
D2	D1	D3	D4	D4	D1	D2	D3	D1	D4	D3	D2	D1	D4	D3	D2
13	14	15	16	29	30	31	32	45	46	47	48	61	62	63	64
N3	N3	N3	N3	N2	N4	N4	N4	N4							
D4	D3	D2	D1	D4	D3	D2	D1	D2	D1	D4	D3	D4	D2	D1	D3
9	10	11	12	25	26	27	28	41	42	43	44	57	58	59	60
N2	N2	N2	N2	N1	N1	N1	N1	N3	N3	N3	N3	N2	N2	N2	N2
D3	D1	D4	D2	D3	D2	D4	D1	D3	D4	D1	D2	D1	D3	D2	D4
5	6	7	8	21	22	23	24	37	38	39	40	53	54	55	56
N4	N4	N4	N4	N3	N3	N3	N3	N4	N4	N4	N4	N1	N1	N1	N1
D1	D3	D2	D4	D4	D1	D2	D3	D2	D3	D4	D1	D3	D1	D4	D2
1	2	3	4	17	18	19	20	33	34	35	36	49	50	51	52

Figura No. 2. Plano del diseño experimental (parcelas divididas en DBCA) según tratamiento para SLI09197.

3.4 DETERMINACIONES Y REGISTROS

3.4.1 Evolución del macollaje

Con el propósito de hacer un seguimiento e inferir la evolución del número de macollos/m² a lo largo del ciclo de ambos cultivares, se efectuaron cuatro muestreos destructivos correspondientes a cada estadio fenológico del cultivo: primordio, 50% floración, 20 días post. floración, y madurez fisiológica o cosecha.

Las fechas de los muestreos fueron para primordio 28/12/16 y para los estadios subsiguientes los muestreos no se realizaron en un solo día, debido a que por las variaciones generadas en base a la densidad de siembra y fertilización nitrogenada se generó una variación en los días a floración, siendo los días 6/2/17, 8/2/17, 13/2/17 correspondientes a 50% floración. Siguiendo la evolución del cultivo hasta 21 días después de floración se realizaron los próximos muestreos, los cuales fueron efectuados en las fechas 27/2/17, 1/3/17, 6/3/17. Para los registros de madurez fisiológica se efectuó una diferencia entre los muestreos de ambos cultivares, ya que el 4/4/17 se muestrearon los tratamientos N1 y N2 de SLI09197 y los D1 y D2 en Merín; y el 11/4/17 los tratamientos N2 y N4 de SLI09197 y los D3 y D4 en INIA Merín. Además las últimas dos fechas de muestreo se corresponden a las fechas de cosecha de cada uno de los tratamientos especificados.

El registro en el número de tallos se realizó luego de obtenido cada muestreo, los que se correspondían a dos muestreos de 0,50 m en primordio y

de 0,30 m (área remarcada con trama en franjas) en los siguientes estadios fenológicos en la segunda hilera de cada lado de la parcela en forma cruzada (Figura No. 3). Posteriormente, se efectuó el conteo de tallos en laboratorio y se realizó la conversión correspondiente a tallos/m² para cada muestra, primeramente dividiendo por 0,17m para el muestreo de primordio ya que el muestreo total era de un metro y en los siguientes estadios la conversión se realizó dividiendo entre el área de muestreo (0,6m*0,17m).

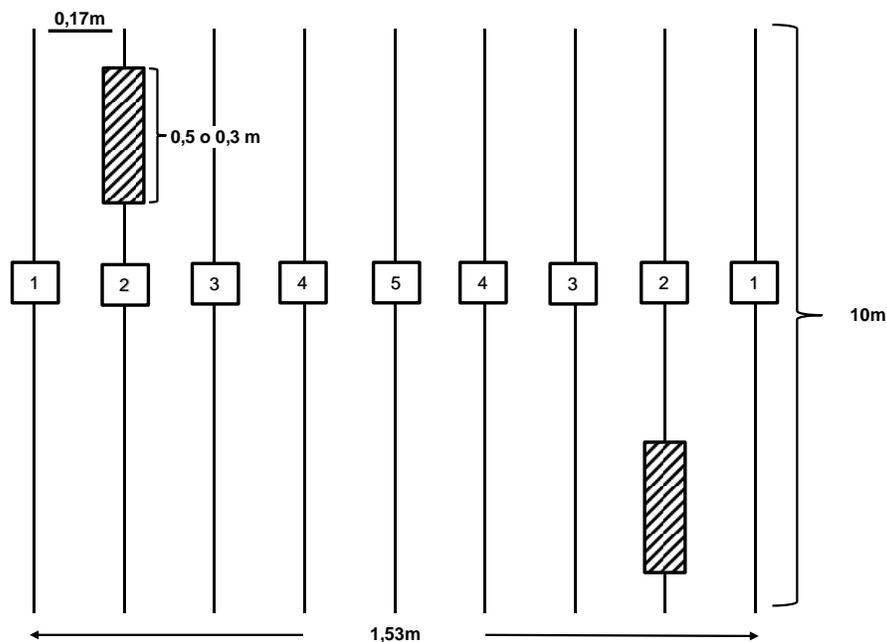


Figura No. 3. Esquema de sistematización del muestreo y cosecha, con sus correspondientes dimensiones

3.4.2 Evolución de la altura o longitud de planta

Se definió el término longitud de planta ya que la medición se realizó en el laboratorio tomando tres tallos al azar de cada muestra, y no se efectuó en la chacra con el cultivo en pie.

Para determinar la variable se midieron con regla tres tallos al azar del total de la muestra, desde la base hasta el extremo superior. Luego se prosiguió a realizar el promedio de las tres mediciones para determinar la variable para cada tratamiento correspondiente en cada estadio fenológico.

A madurez fisiológica, además de realizar esta medición definida como longitud de planta, se midió la altura de planta con el cultivo en pie, realizando cuatro mediciones dentro de cada parcela, las que luego se promediaron para inferir la magnitud de la variable.

3.4.3 Evolución de la materia seca (MS)

Dentro de cada parcela, en los dos surcos definidos para realizar los muestreos destructivos mencionados anteriormente, se realizaron a macollaje y primordio dos muestreos de 0,50 m, y a 50% floración, 20 días post. floración y madurez fisiológica dos de 0,30 m, definiendo cinco momentos para la estimación de la MS de cada tratamiento. Los distintos muestreos fueron los mismos que para la estimación del resto de las variables a diferencia de macollaje en donde sólo se estimó MS y el mismo fue el día 21/11/16.

Las muestras obtenidas fueron procesadas en laboratorio, en donde para las de macollaje solo se estimó la MS. Para el resto de las muestras se determinó el número de tallos, en donde se extrajeron 15 tallos al azar, generando un excedente de muestra (resto de muestra). A los tallos extraídos se los dividió en los distintos componentes determinando la partición de la MS. Por lo tanto, para primordio se dividieron en vaina y lámina y para los estadios siguientes se dividió en vaina, tallo, lámina y panícula, a excepto de madurez fisiológica en donde se dividió los tallos en vaina, tallo, lámina, raquis y granos, debido al mal estado de algunas panículas que se encontraban desgranadas. Cada uno de los componentes fue colocado en sobres de papel con su debido número de parcela, cultivar y estadio fenológico correspondiente, para posteriormente ser secado en estufa a 60 y 48 °C durante 48 y 72 horas respectivamente hasta llegar a 0% de humedad. El componente de lámina antes de ser secado en estufa se pasó por el medidor de área foliar, determinando los cm² de lámina en los 15 tallos. El resto de la muestra se lavó con agua destilada para posteriormente ser colocada en bandejas con su correspondiente etiqueta haciendo referencia a la parcela y cultivar, para que luego se colocara en la estufa al igual que el resto de los componentes. A madurez fisiológica el resto de la muestra se desgranó, generando un resto de muestra para grano y paja.

Tanto los distintos componentes de los 15 tallos, como el resto de la muestra se pesaron en balanza electrónica, determinando la MS de cada muestreo. La suma de la MS de ambas muestras determinó la MS total del muestreo (Figura No. 4), la cual dependiendo de la superficie muestreada en cada estadio se realizó la conversión a MS total/m².

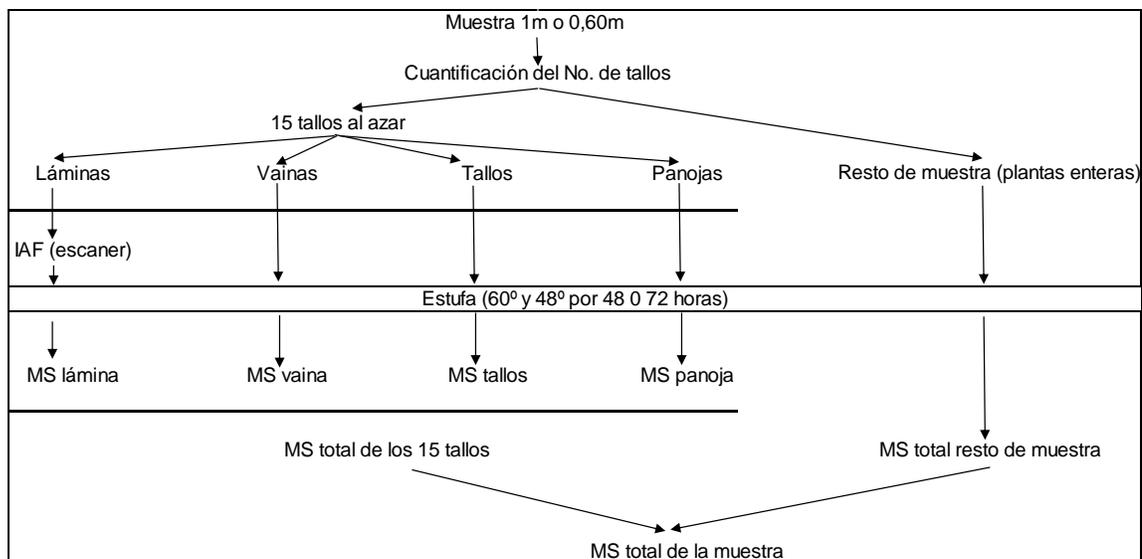


Figura No. 4. Esquema demostrativo del procedimiento realizado en cada muestreo destructivo realizado

3.4.4 Evolución del área foliar

Con anterioridad a ser colocadas en la estufa, las láminas verdes de los 15 tallos extraídos al azar fueron pasadas por el medidor leaf area meter LI3000 v 1.0.0.. en donde se registró el área foliar de la muestra en cm^2 .

Índice de área foliar (IAF)

$$\text{IAF (m}^2 \text{ hoja/m}^2 \text{ suelo)} = ((\text{ÁF. 15 tallos} \times \text{No. tallos/15 tallos}) / 0,17 \text{ o } (0,17 \times 0,6)) / 10000$$

No. tallos: No. de tallos total de la muestra, ya sea de una muestra de 0,6 o 1 m.

Se divide en 10000 para pasar de cm^2 a m^2 .

Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)

$$\text{TCC (Kg/ha/día)} = (\text{MS T2} - \text{MS T1}) / (\text{T2} - \text{T1})$$

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

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

- Primordio - 50% floración,
- 50% floración - 20 días post. floración,

- 20 días post. floración - madurez fisiológica o cosecha

3.4.5 Rendimiento

El rendimiento en grano de ambos cultivares fue estimado a partir de la cosecha mecánica de cada parcela (para esto se desbordó la primera hilera a ambos lados de la parcela (Figura No. 3) quedando siete hileras para la cosecha. Además se desbordó 1m en cada extremo de la parcela, acortando el largo de la misma a 8 m. Se cosechó cada parcela con una cosechadora experimental FOTON DG200, y el grano obtenido era inmediatamente pesado en la chacra utilizando una balanza electrónica, siendo el porcentaje promedio de humedad de 18,5 %.

El área de cosecha fue de 8,9 m², siendo el resultado de las 7 hileras cosechadas, en donde la distancia entre ellas es de 0,17m y un largo de parcela de 8 m, restando el área muestreada durante los 5 estadios fenológicos ya que se habían realizado muestreos destructivos.

Posteriormente se llevaron los rendimientos obtenidos en la superficie de las parcelas a hectárea y seguidamente se realizaron las conversiones de los mismos con un 13% de humedad mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento} \times 1 - \frac{(h \text{ inicial} - h \text{ final})}{(100 - h \text{ final})}$$

3.4.5.1 Componentes de rendimiento

A partir de dos muestreos destructivos de 30 cm a cosecha, se contabilizó el número de panojas registradas y se calculó el número de panojas/m². Seguidamente se tomaron 15 panojas al azar de la muestra y se determinó:

- Número de granos totales
- Número de granos llenos
- Número de granos parcialmente llenos
- Número de granos estériles
- Porcentaje de esterilidad
- Peso de 1000 granos

Estas panojas se cortaron a hoz, luego se tomaron 15 de ellas al azar y fueron desgranadas manualmente. Posteriormente se pasó por un separador de grano, en donde se obtuvieron los distintos componentes: 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 realizó la siguiente conversión:

$$\text{No. granos (totales, llenos, par. llenos o estériles)/m}^2 = (\text{No. granos x No. panojas (muestra)}) / (0,17 \times 0,6).$$

En cuanto al porcentaje de esterilidad, se obtuvo de dividir el número de granos estériles entre el número de granos totales, multiplicados por 100. Para obtener el peso de 1000 granos, se pesaron 3 submuestras de 30 gramos cada una; de cada muestra, luego se obtuvo el número de granos a través de un contador de granos, realizando el promedio y con este valor se realiza una regla de tres para así obtener el peso de mil granos.

3.4.5.2 Índice de cosecha

El índice de cosecha se obtuvo como el cociente entre la MS promedio desde 50% de floración a madurez fisiológica y el rendimiento en grano. De esta manera al realizar un promedio se disminuyó el error de estimación de la materia seca total producida durante el ciclo del cultivo.

3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para realizar el análisis se utilizó el software estadístico JMP13.1.0, la función análisis. Éste se basó en la aplicación de path análisis y análisis de clúster, con el objetivo de inferir modelos estadísticos con la capacidad de explicar el comportamiento de la variable de respuesta (rendimiento) en ambos cultivos. Por otra parte el análisis de clúster se utilizó como forma para determinar distintos grupos de tratamientos, que fueran similares en ciertas características que trajeran como consecuencia un rendimiento medio similar dentro de grupos.

Las diferencias mínimas significativas para cada variable se determinaron a partir de una “prueba t” realizada con el mismo programa para un $\alpha=0,05$. Para la determinación de ambos análisis las funciones utilizadas en JMP fueron ajuste de modelo, análisis multivariado y análisis de clúster.

4. RESULTADOS

4.1 IMPLANTACIÓN

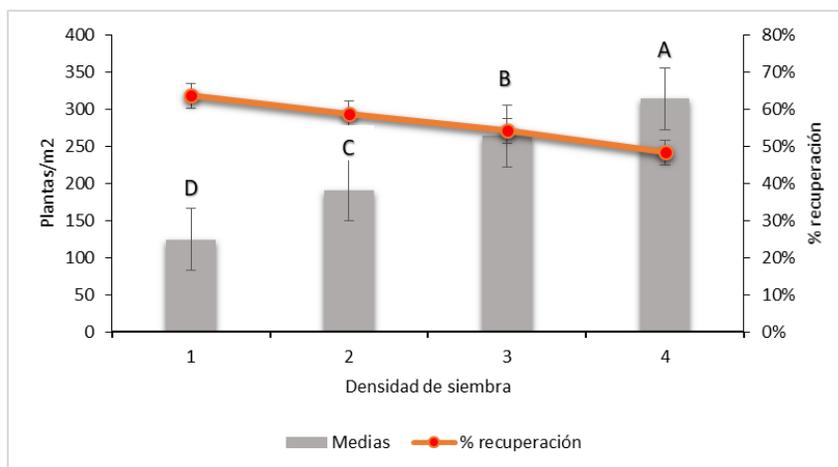


Figura No. 5. Implantación y porcentaje de recuperación de plantas para el cultivar INIA Merín, según densidad de siembra

Existe una positiva respuesta del No. de plantas/m², ya que a medida que se aumentó la densidad de siembra se dio un significativo aumento en el No. de plantas/m² ($P < ,0001$).

Por lo tanto, debido a los objetivos planteados en cuanto a las densidades de siembra se logró el establecimiento de diferentes poblaciones de plantas.

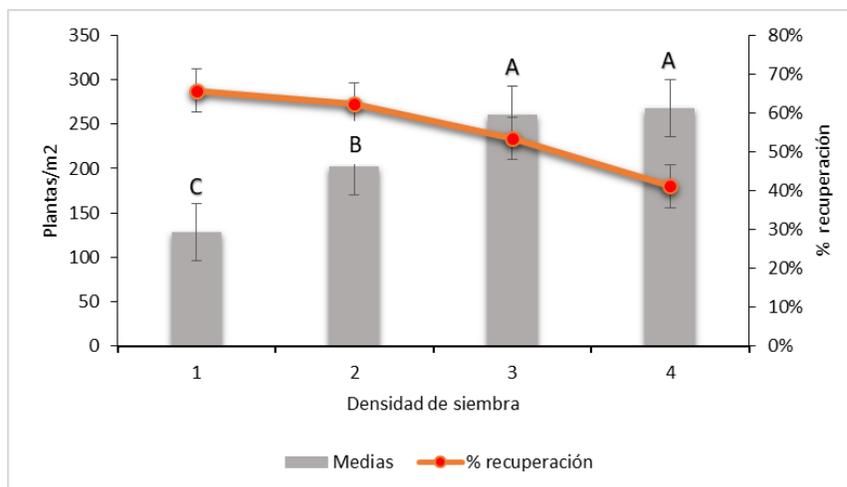


Figura No. 6. Implantación y porcentaje de recuperación de plantas para el cultivar SLI09197, según densidad de siembra

Al igual que para INIA Merín el efecto de la densidad de siembra sobre el No. de plantas/m² fue significativo ($P < ,0001$), en donde existe una respuesta lineal al aumento de la densidad hasta D3 y luego se genera un plateau. De este modo las densidades D3 y D4 fueron significativamente iguales, por lo cual no se logró el cometido de generar cuatro densidades contrastantes.

Cuadro No. 1. Porcentaje de recuperación para los cultivares INIA Merín y SLI09197 según densidad de siembra

	Densidad	% recuperación	Sig.*
MERÍN	1	63	A
	2	58	A B
	3	54	B C
	4	48	C
SLI09197	1	65	A
	2	62	A
	3	54	B
	4	40	C

*El nivel de significancia del % de recuperación está determinado para cada densidad de siembra dentro de cada cultivar (ns a 5%).

Los porcentajes de recuperación de plantas promedio de los 4 tratamientos fue el mismo para ambos cultivares, siendo éste de un 56%, pero el comportamiento de cada cultivar es distinto para cada tratamiento. Se observa una disminución más pronunciada en la recuperación de plantas a medida que se aumenta la densidad de siembra en el cultivar SLI09197 con respecto a INIA Merín.

4.2 ACUMULACIÓN DE MATERIA SECA

4.2.1 Producción de biomasa

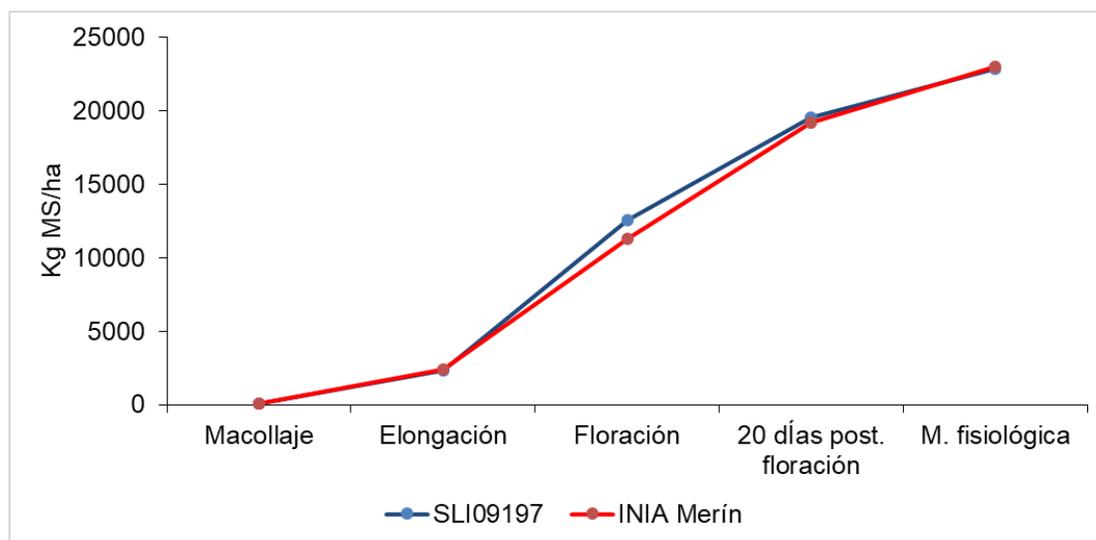


Figura No. 7. Evolución de la acumulación de biomasa en los cultivares SLI09197 e INIA Merín para el promedio de todos los tratamientos

En cuanto a la acumulación de biomasa total a lo largo del ciclo del cultivo, ambos cultivares se comportaron de manera similar, siendo ésta a fin de ciclo de 22852 y 22998 Kg de MS/ha para SLI09197 e INIA Merín respectivamente. En el período emprendido de elongación a llenado de granos temprano, precisamente en el momento de la floración, si bien no se puede definir una jerarquía significativa de un cultivar sobre otro, existe una superioridad de SLI09197 con respecto a INIA Merín en cuanto a la MS acumulada, la cual es de 12569 y 11298 Kg MS/ha respectivamente. Lo que también coincide con el período en donde ésta es superior en cuanto a la generación de IAF.

Cuadro No. 2. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre la biomasa total (Kg/ha) para INIA Merín

Fuente	N parámetros	Gr. de libertad	S.de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	16588271	0,8186	0,4904
Densidad	3	3	25259053	1,2465	0,3041
Nitrógeno	3	3	235959361	11,6446	<,0001
Densidad*nitrógeno	9	9	52569685	0,8648	0,5627

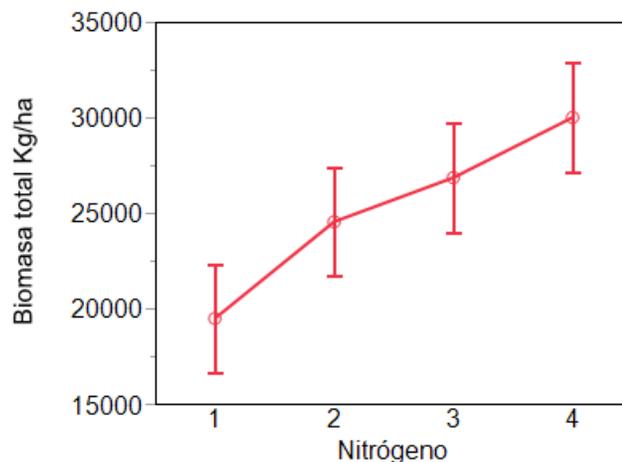


Figura No. 8. Efecto del nitrógeno sobre la biomasa total (Kg/ha) para el cultivar INIA Merín

Cuadro No. 3. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre la biomasa total (Kg/ha) para SLI09197

Fuente	N parámetros	Gr.de libertad	S. de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	29736195	1,0093	0,3975
Densidad	3	3	27320472	0,9273	0,4354
Nitrógeno	3	3	167660828	5,6905	0,0022
Densidad*nitrógeno	9	9	86079200	0,9739	0,474

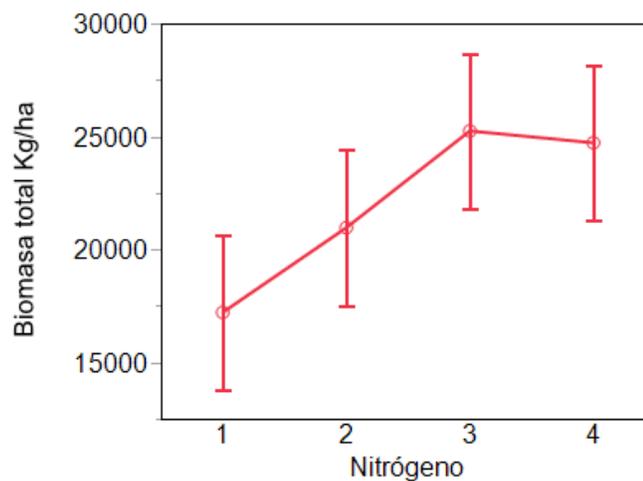


Figura No. 9. Efecto del nitrógeno sobre la biomasa total (Kg/ha) para el cultivar SLI09197

Para ambos cultivares la biomasa total acumulada a madurez fisiológica está determinada significativamente por la fertilización nitrogenada. La

respuesta al aumento en la dosis de nitrógeno difiere entre cultivares ya que INIA Merín responde de forma lineal mientras que SLI09197 a partir de la dosis N3 alcanza la máxima producción de biomasa y se genera un plateau.

4.2.2 Acumulación de biomasa según estado fenológico del cultivo

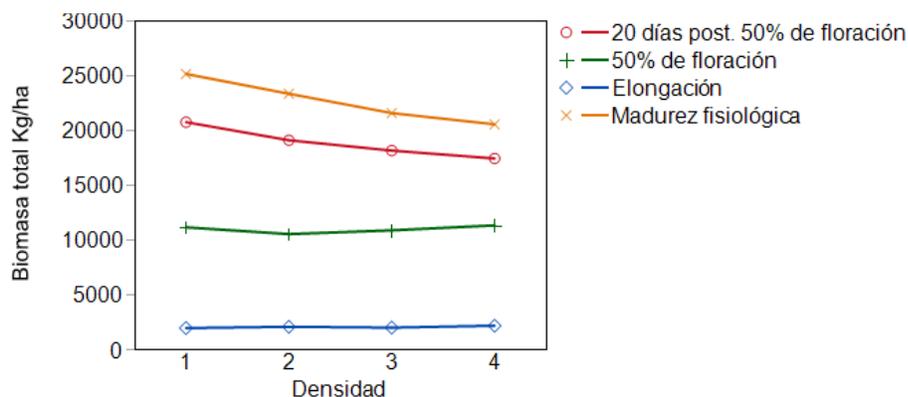


Figura No. 10. Efecto de la interacción de la densidad de siembra y el estado fenológico del cultivo para la acumulación de biomasa total en el cultivar INIA Merín

Existe una interacción significativa ($P=0,0050$) entre ambas variables para explicar la acumulación de biomasa, en donde se percibe un cambio en la pendiente a partir del momento 20 días post. 50% de floración, el cual es más pronunciado para las densidades bajas D1 y D2. Hasta el estadio de 50% de floración no habría diferencias en la acumulación de biomasa para las distintas densidades.

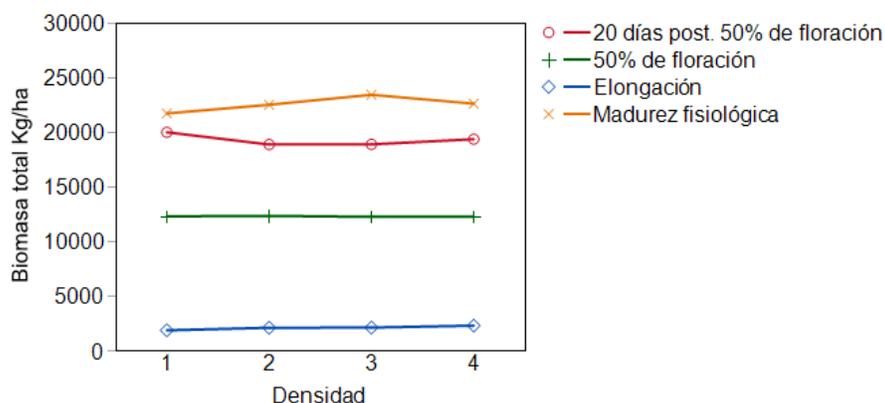


Figura No. 11. Efecto de la interacción de la densidad de siembra y el estado fenológico del cultivo para la acumulación de biomasa total en el cultivar SLI09197

Para SLI09197 no existe interacción significativa ($P=0,8967$) entre las variables, por lo que no se presencian cambios en las pendientes al generarse cambios en la densidad de siembra.

4.2.3 MS total acumulada a 50% de floración

Cuadro No. 4. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción para la MS a 50% de floración en el cultivar INIA Merín

Fuente	N parámetros	Gr. de libertad	S.de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	4964971	1,1413	0,3427
Densidad	3	3	7489974	1,7216	0,176
Nitrógeno	3	3	13918415	3,1993	0,0322
Densidad*nitrógeno	9	9	41356203	3,1687	0,0048

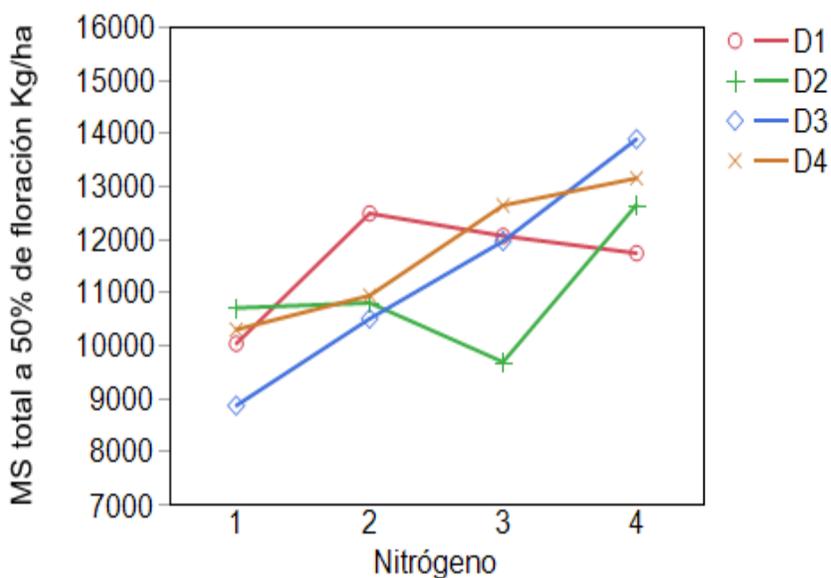


Figura No. 12. Efecto de la interacción densidad*nitrógeno sobre la MS a 50% de floración en el cultivar INIA Merín

Cuadro No. 5. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción para la MS a 50% de floración en el cultivar SLI09197

Fuente	N parámetros	Gr. de libertad	S.de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	32953027	4,1	0,0118
Densidad	3	3	2366512	0,2944	0,8292
Nitrógeno	3	3	49087965	6,1075	0,0014
Densidad*nitrógeno	9	9	6570551	0,2725	0,979

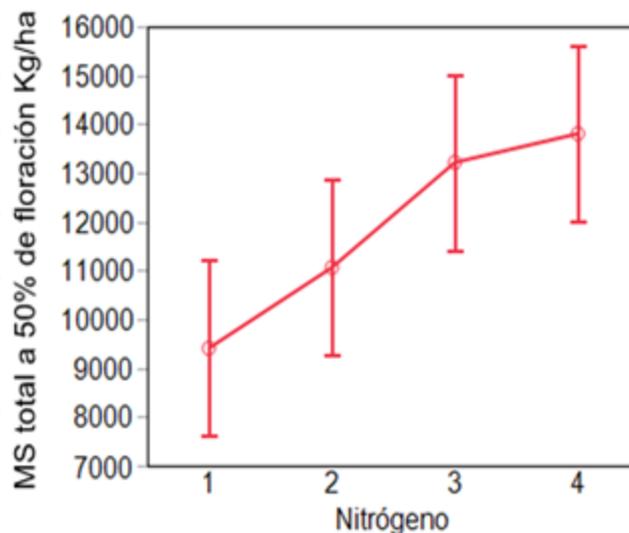


Figura No. 13. Efecto del nitrógeno sobre la MS total a 50% de floración para el cultivar SLI09197

La MS total acumulada a 50% de floración en INIA Merín está determinada significativamente por efectos de la interacción de los factores densidad y nitrógeno. Los mayores valores de biomasa acumulada estuvieron dados por las combinaciones entre N3, N4 y D3, D4.

Sin embargo, en SLI09197 la MS total a 50% de floración es significativamente afectada por la fertilización nitrogenada, en donde presenta una respuesta lineal hasta la dosis de N3 y luego genera un plateau al igual que lo ocurrido con la MS total a madurez fisiológica.

4.2.4 MS total acumulada 20 días post. 50% de floración

Cuadro No. 6. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre la MS total a 20 días post. 50% de floración para el cultivar INIA Merín

Fuente	N parámetros	Gr.de libertad	S. de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	38122854	1,9023	0,1428
Densidad	3	3	4823595	0,2407	0,8675
Nitrógeno	3	3	163152459	8,1411	0,0002
Densidad*nitrógeno	9	9	79050535	1,3148	0,2562

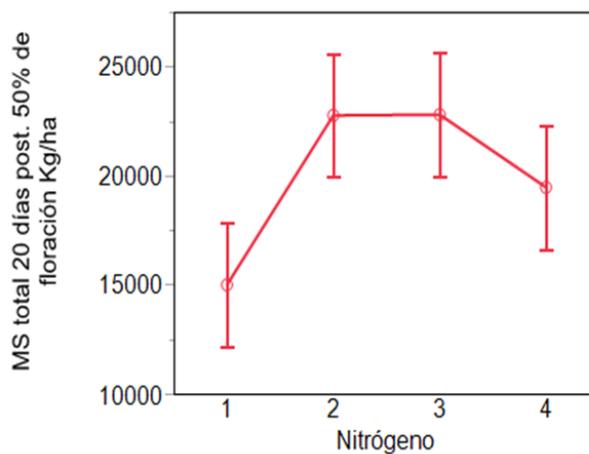


Figura No. 14. Efecto del nitrógeno sobre la MS acumulada a 20 días post. 50% de floración para el cultivar INIA Merín

Cuadro No. 7. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre la MS total a 20 días post. 50% de floración para el cultivar SLI09197

Fuente	N parámetros	Gr.de libertad	S. de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	24293798	0,7463	0,5302
Densidad	3	3	26567973	0,8162	0,4917
Nitrógeno	3	3	113792165	3,4957	0,023
Densidad*nitrógeno	9	9	130823543	1,3396	0,2442

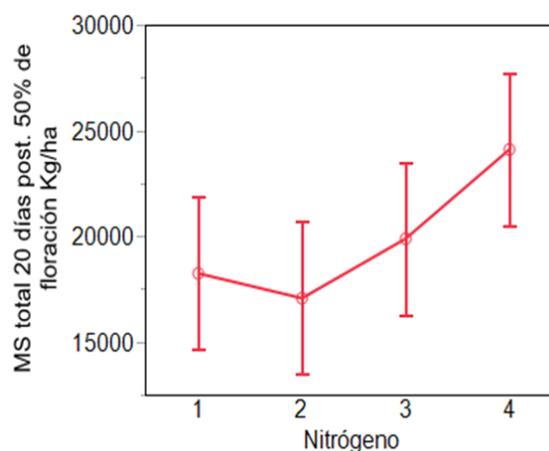


Figura No. 15. Efecto del nitrógeno sobre la MS acumulada a 20 días post. 50% de floración para el cultivar SLI09197

En ambos cultivares la MS total acumulada a 20 días post. 50% de floración está determinada significativamente por la fertilización nitrogenada.

Existe una diferencia en la respuesta al aumento en la dosis de N entre cultivares. INIA Merín responde al agregado de N al pasar de cero nitrógeno a la dosis de N2 pero luego genera un plateau y posteriormente decrece en N4, mientras que SLI09197 a partir de la dosis N2 genera una respuesta lineal al aumento de la fertilización nitrogenada.

4.2.5 Producción de biomasa y No. de tallos

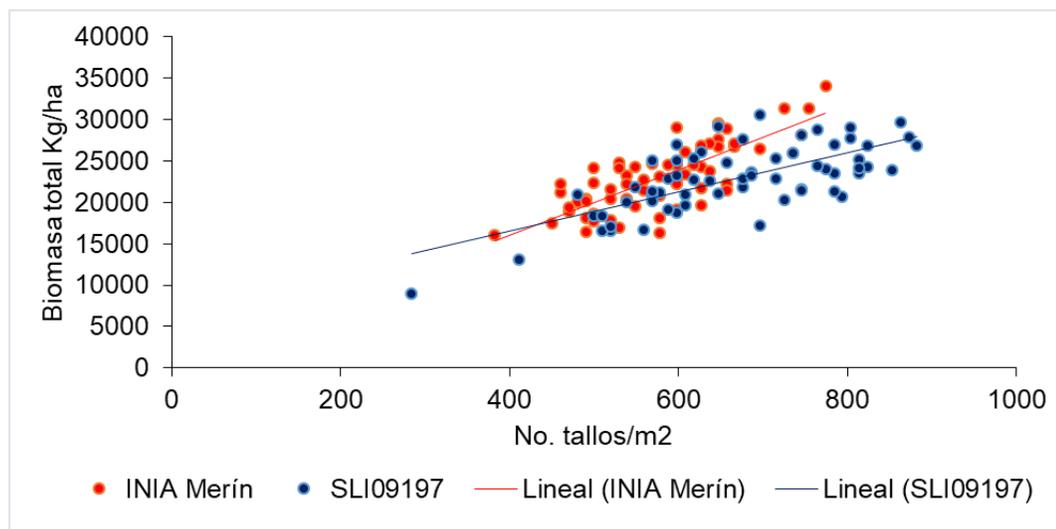


Figura No. 16. Efecto del No. de tallos logrados/m² a madurez fisiológica sobre la biomasa total acumulada para cada cultivar

Dejando de lado la densidad de siembra como un factor ordinal, si se tiene en cuenta la densidad como el número de tallos logrados por metro cuadrado, existe un efecto significativo para ambos cultivares ($P < 0,0001$) que explica la acumulación de biomasa total.

Cuadro No. 8. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el No. de tallos logrados/m² a madurez fisiológica para el cultivar INIA Merín

Fuente	N parámetros	Gr. de libertad	S. de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	12703,95	0,8255	0,4867
Densidad	3	3	9827,95	0,6386	0,5941
Nitrógeno	3	3	118127,64	7,6762	0,0003
Densidad*nitrógeno	9	9	54283,51	1,1758	0,3333

Cuadro No. 9. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el No. de tallos logrados/m² a madurez fisiológica para el cultivar SLI09197

Fuente	N parámetros	Gr. de libertad	S. de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	7437,04	0,2583	0,855
Densidad	3	3	105368,13	3,6598	0,0192
Nitrógeno	3	3	23284,31	0,8087	0,4957
Densidad*nitrógeno	9	9	121107,27	1,4021	0,2159

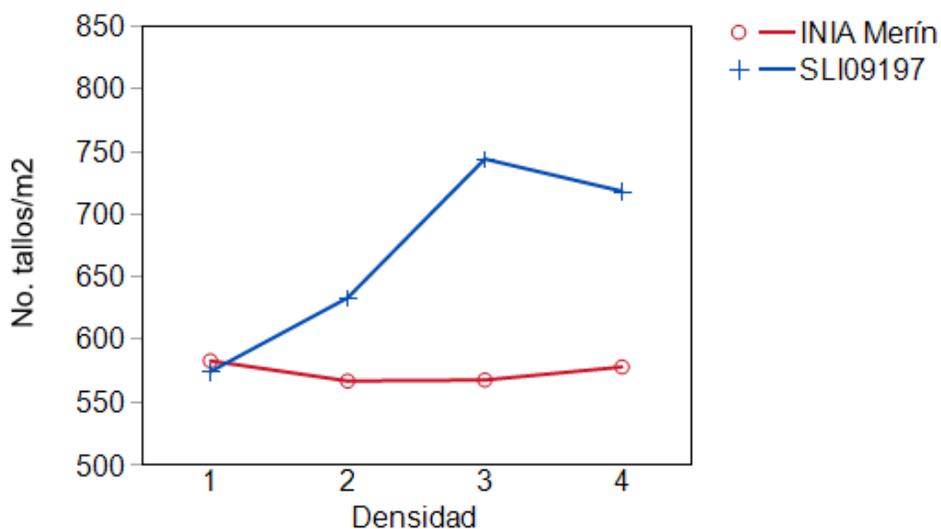


Figura No. 17. Efecto de la densidad de siembra sobre el No. de tallos logrados/m² a madurez fisiológica para cada cultivar

La densidad de siembra presenta un significativo efecto sobre el No. de tallos logrados/m² a madurez fisiológica en el cultivar SLI09197 en donde las densidades D3 y D4 se diferencian significativamente del resto con 747 y 721 tallos logrados/m² respectivamente. Sin embargo, la densidad no tuvo efecto significativo sobre el No. de tallos/m² a madurez fisiológica en el cultivar INIA Merín.

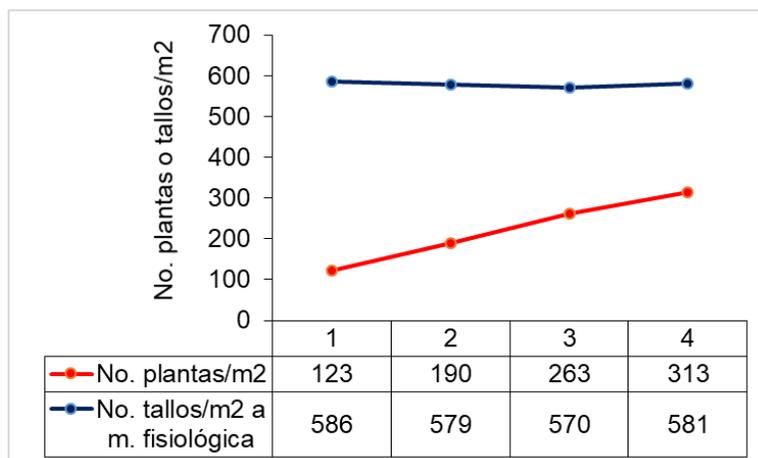


Figura No. 18. Efecto de la densidad de siembra sobre el No. de plantas/m² en implantación y el No. de tallos logrados/m² a madurez fisiológica para el cultivar INIA Merín

Si bien en implantación se logró una respuesta lineal en el número de plantas logradas/m² a medida que se aumentó la densidad de siembra, la evolución en el número de tallos/m² determinó que para este cultivar no se lograra el objetivo planteado en cuanto a la variación en la densidad de siembra. Esto se debe a que los tallos logrados a madurez fisiológica no tuvieron diferencias significativas entre las distintas densidades utilizadas.

Por lo tanto, el macollaje efectivo disminuyó a medida que se aumentó la densidad de siembra, pasando de 463 a 268 tallos efectivos/m² de D1 a D4 respectivamente.

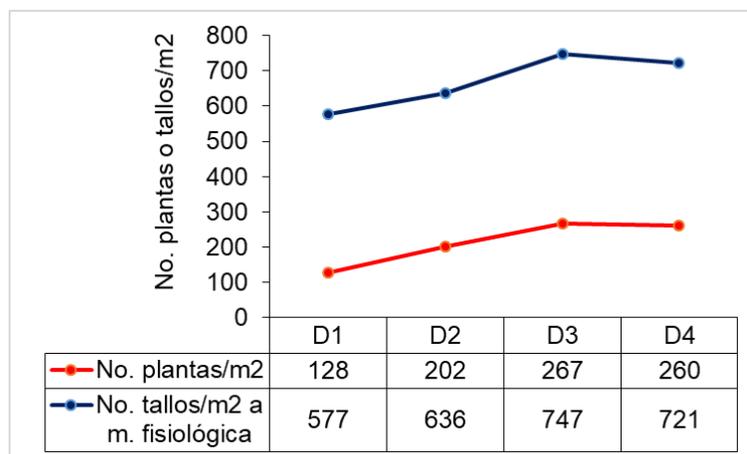


Figura No. 19. Efecto de la densidad de siembra sobre el No. de plantas/m² en implantación y el No. de tallos/m² a madurez fisiológica para el cultivar SLI09197

Para SLI09197 sí se logró cierta variabilidad en la densidad de siembra, en donde se mantuvo la misma tendencia en el No. de tallos logrados/m² a madurez fisiológica con respecto al No. de plantas/m² a implantación. En ambas situaciones no se lograron diferencias significativas tanto en el No. de plantas como en el No. de tallos entre las densidades D3 y D4.

Debido a esto, el macollaje efectivo para SLI09197 se mantuvo a medida que se aumentó la densidad de siembra, siendo de 449 y 461 tallos/m² para D1 y D4 respectivamente.

Cuadro No. 10. Partición de la biomasa total para el cultivar INIA Merín según la densidad de siembra como No. de tallos/m² logrados a madurez fisiológica

Densidad	No. tallos/m ²	MS tallo Kg/m ²	MS vainas Kg/m ²	MS panoja kg/m ²	MS l. verde Kg/m ²
D1	586	A 0,27	A 0,41	A 1,49	A 0,13
D2	579	A 0,25	AB 0,37	AB 1,41	AB 0,12
D3	570	A 0,22	B 0,35	B 1,30	BC 0,13
D4	581	A 0,22	B 0,33	B 1,24	C 0,12

La mayor biomasa acumulada en las densidades D1 y D2 en INIA Merín se debe a un cambio en la partición de la materia seca, ya que para el conjunto de las densidades el No. de tallos/m² no varió. Por lo tanto, esta mayor biomasa acumulada se corresponde con una mayor partición de la materia seca hacia los componentes tallo, vaina y panoja, en donde el impacto es mayor en D1.

Cuadro No. 11. Partición de la biomasa total para el cultivar SLI09197 según la densidad de siembra como No. de tallos/m² logrados a madurez fisiológica

Densidad	No. tallos/m ²	MS tallo Kg/m ²	MS vainas Kg/m ²	MS panoja kg/m ²	MS l. verde Kg/m ²
D1	577	A 0,21	A 0,31	A 1,34	A 0,12
D2	636	A 0,22	A 0,33	A 1,34	A 0,14
D3	747	B 0,21	A 0,33	A 1,33	A 0,14
D4	721	B 0,22	A 0,34	A 1,31	A 0,13

A diferencia de lo que sucede con el cultivar INIA Merín, el cambio en las densidades de siembra no generó diferencias en la biomasa total acumulada, ni un cambio en la partición de la MS lograda. El único efecto que tuvo el aumento de la densidad fue la obtención de un mayor número de tallos/m².

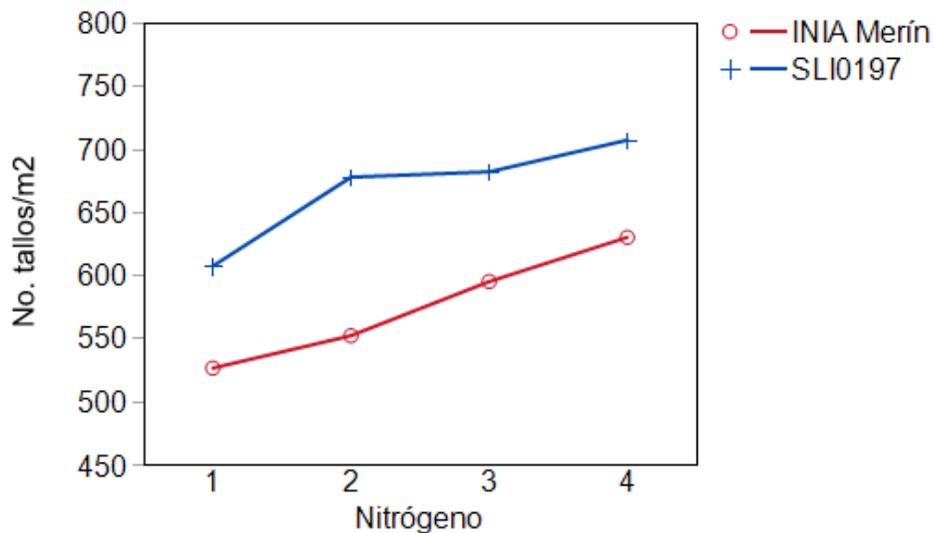


Figura No. 20. Efecto del nitrógeno sobre el No. de tallos logrados/m² a madurez fisiológica en ambos cultivares

El efecto del nitrógeno difiere entre cultivares ya que INIA Merín respondió de forma significativa mientras que SLI09197 no obtuvo respuesta al agregado del nutriente. La respuesta de INIA Merín es de tipo lineal, en donde a medida que se aumentó la dosis de N el No. de tallos/m² fue mayor.

4.3 PARTICIÓN DE LA MATERIA SECA

Cuadro No. 12. Partición de la materia seca en Kg MS/m², para cada cultivar desde elongación hasta madurez fisiológica para el promedio de todos los tratamientos

	INIA Merín			SLI09197		
	Kg/m ²	%	Sig.	Kg/m ²	%	Sig.
Elongación	0,26	100		0,28	100	
MS lámina	0,13	50	B	0,15	53,6	A
MS vaina	0,13	50	A	0,13	46,4	A
50% de floración	1,24	100		1,32	100	
MS lámina	0,27	21,8	B	0,32	24,2	A
MS vaina	0,45	36,3	A	0,46	34,8	A
MS tallo	0,27	21,8	A	0,25	18,9	A
MS panoja	0,25	20,2	B	0,29	22,0	A
20 días post. floración	1,86	100		1,72	100	
MS lámina	0,28	15,1	A	0,29	16,9	A
MS vaina	0,36	19,4	A	0,35	20,3	A
MS tallo	0,23	12,4	A	0,23	13,4	A
MS panoja	0,99	53,2	A	0,85	49,4	B
Madurez fisiológica	2,26	100		2,18	100	
MS lámina verde	0,12	5,3	B	0,14	6,4	A
MS lámina seca	0,12	5,3	B	0,14	6,4	A
MS vaina	0,37	16,4	A	0,34	15,6	B
MS tallo	0,26	11,5	A	0,22	10,1	B
MS panoja	1,39	61,5	A	1,34	61,5	A

En base al esquema de partición de la materia seca de ambos cultivares desde elongación hasta madurez fisiológica no hay muchas diferencias entre ellos. Sin embargo, SLI09197 presenta la particularidad de particionar una mayor parte de la biomasa con respecto a INIA Merín al desarrollo de lámina en los estadios de elongación y 50% de floración. Lo cual corresponde con el período en el que el mismo es superior en cuanto a la acumulación de biomasa total, según la curva de acumulación de biomasa.

A su vez éste llega a madurez fisiológica con una mayor proporción de biomasa en estado de lámina verde lo que tiene influencia en el llenado de granos en ese período.

4.4 DESARROLLO FOLIAR

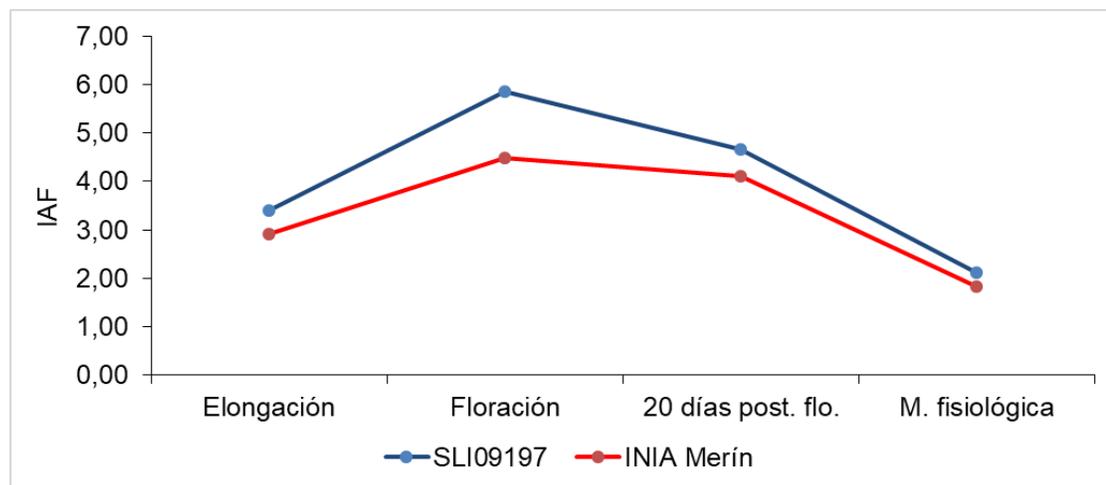


Figura No. 21. Evolución del IAF a través de cuatro estadios fenológicos del cultivo para ambos cultivares para el promedio de todos los tratamientos

De acuerdo a la evolución de la canopia a través del ciclo del cultivo, se evidencia una superioridad en el desarrollo del área foliar en el cultivar SLI09197 con respecto a INIA Merín en el momento 50% de floración, momento en el cual se alcanza el IAF máximo en ambos cultivares.

4.4.1 Índice de área foliar a 50% de floración

Cuadro No. 13. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el IAF a 50% de floración en el cultivar INIA Merín

Fuente	N parámetros	Gr. de libertad	S. de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	2,548953	1,5842	0,2064
Densidad	3	3	3,514172	2,1841	0,103
Nitrógeno	3	3	6,59943	4,1017	0,0118
Densidad*nitrógeno	9	9	11,039164	2,287	0,0329

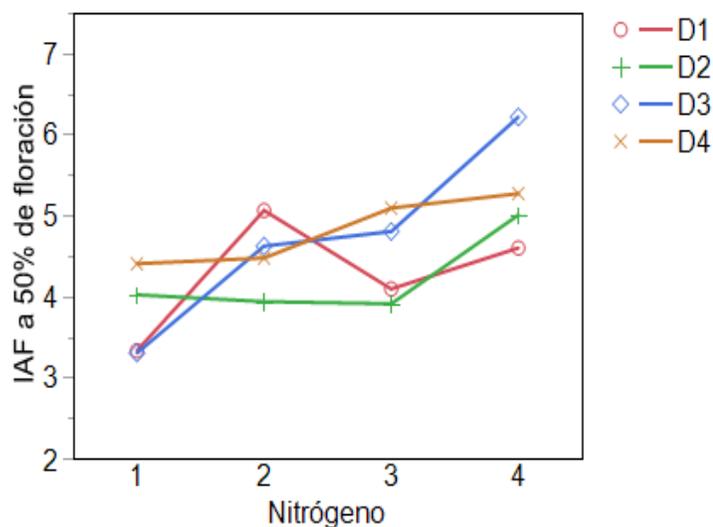


Figura No. 22. Efecto de la interacción densidad y nitrógeno en el IAF a 50% de floración para el cultivar INIA Merín

Cuadro No. 14. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el IAF a 50% de floración en el cultivar SLI09197

Fuente	N parámetros	Gr. de libertad	S.de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	11,689143	3,7707	0,0169
Densidad	3	3	3,337232	1,0765	0,3686
Nitrógeno	3	3	19,855012	6,4049	0,001
Densidad*nitrógeno	9	9	7,081258	0,7614	0,6517

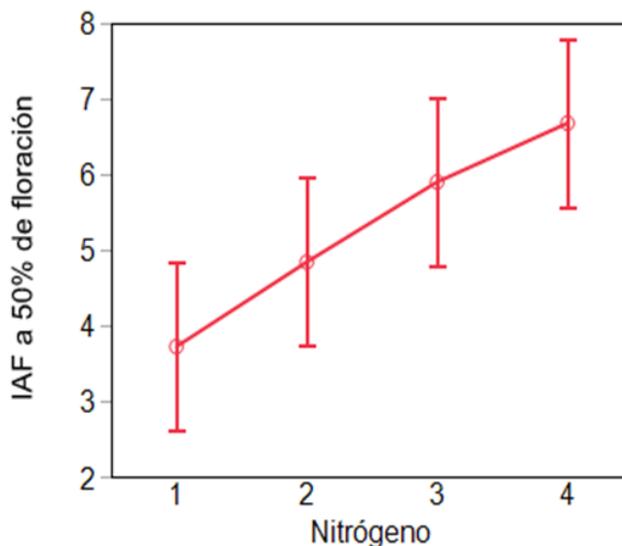


Figura No. 23. Efecto del factor nitrógeno sobre el IAF a 50% de floración para el cultivar SLI09197

El IAF a 50% de floración está determinado por diferentes efectos de los factores en cada cultivar.

INIA Merín genera el IAF a partir de la interacción significativa entre densidad de siembra y fertilización nitrogenada, en donde los máximos valores de IAF son alcanzados por las combinaciones de altas densidades (D3 y D4) y alta fertilización nitrogenada (N3 y N4). Sin embargo, SLI09197 tiene una positiva respuesta a la fertilización nitrogenada, ya que a medida que la dosis de N fue mayor el IAF aumentó significativamente.

4.4.2 Índice de área foliar a 20 días post. 50% de floración

Cuadro No. 15. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción para el IAF a 20 días post. 50% de floración en el cultivar INIA Merín

Fuente	N parámetros	Gr. de libertad	S.de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	2,7373081	1,7398	0,1724
Densidad	3	3	0,6844712	0,435	0,729
Nitrógeno	3	3	7,7350645	4,9163	0,0049
Densidad*nitrógeno	9	9	4,6342469	0,9818	0,4679

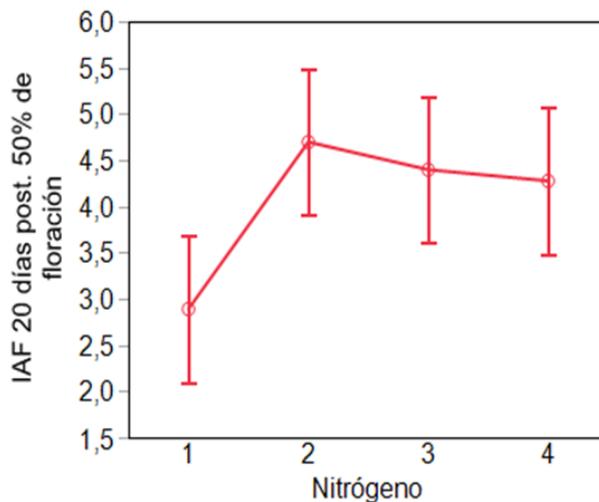


Figura No. 24. Efecto del factor nitrógeno sobre el IAF a 20 días post. 50% de floración en el cultivar INIA Merín

Cuadro No. 16. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción para el IAF a 20 días post. 50% de floración en el cultivar SLI09197

Fuente	N parámetros	Gr. de libertad	S. de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	8,591071	2,2297	0,0977
Densidad	3	3	1,91633	0,4973	0,686
Nitrógeno	3	3	11,894127	3,0869	0,0365
Densidad*nitrógeno	9	9	8,257283	0,7143	0,6929

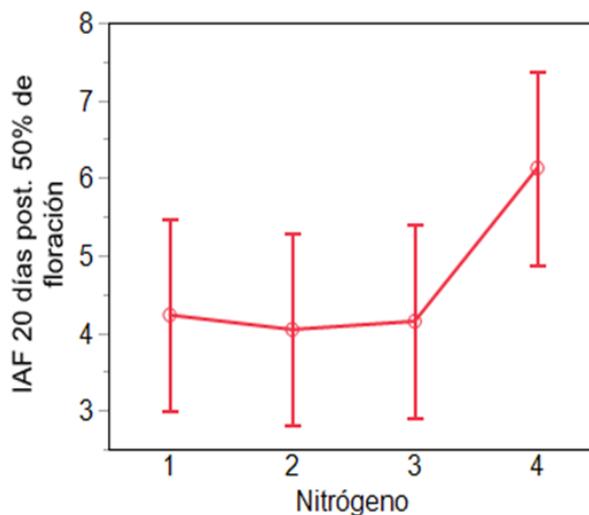


Figura No. 25. Efecto del factor nitrógeno sobre el IAF a 20 días post. 50% de floración en el cultivar SLI09197

Al igual que lo que ocurre con la MS para el mismo estadio fenológico, el IAF a 20 días post. 50% de floración está determinado en ambos cultivares por el efecto de la fertilización nitrogenada, en donde las curvas de respuesta son similares a las de acumulación de MS en el mismo período.

INIA Merín tuvo una positiva respuesta a la fertilización nitrogenada basada en la diferencia entre el tratamiento sin N y los tratamientos nitrogenados, ya que a partir de la dosis N2 genera un plateau. Sin embargo, SLI09197 no genera respuesta hasta la dosis N3, generando un significativo aumento del IAF en N4. Los valores máximos de IAF alcanzados en este estadio fueron de 4,7 y 6.1 para INIA Merín y SLI09197 respectivamente.

4.4.3 Índice de área foliar a madurez fisiológica

Cuadro No. 17. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el IAF a madurez fisiológica para el cultivar INIA Merín

Fuente	N parámetros	Gr. de libertad	S. de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	0,257757	0,3243	0,8077
Densidad	3	3	0,1498683	0,1886	0,9036
Nitrógeno	3	3	3,146056	3,9585	0,0138
Densidad*nitrógeno	9	9	1,3542756	0,568	0,8158

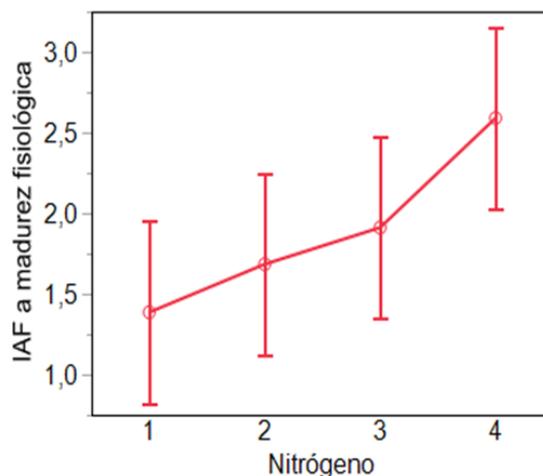


Figura No. 26. Efecto del nitrógeno sobre el IAF a madurez fisiológica en el cultivar INIA Merín

Cuadro No. 18. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el IAF a madurez fisiológica en el cultivar SLI09197

Fuente	N parámetros	Gr. de libertad	S. de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	5,403905	7,5693	0,0003
Densidad	3	3	0,5153047	0,7218	0,5444
Nitrógeno	3	3	0,1683384	0,2358	0,8709
Densidad*nitrógeno	9	9	3,6943917	1,7249	0,1118

En INIA Merín el IAF a madurez fisiológica está determinado significativamente por el efecto de la fertilización nitrogenada, en donde existe una respuesta positiva al aumento en la dosis de N alcanzando valores máximos de 2,6. Por otra parte, para el caso de SLI09197 el IAF en este período no estuvo afectado por ninguno de los factores ni su interacción, alcanzando una media de 2,1.

4.5 RENDIMIENTO

Cuadro No. 19. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el rendimiento del cultivo para el cultivar INIA Merín

Fuente	N parámetros	Gr. de libertad	S. de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	14431401	2,1703	0,105
Densidad	3	3	2838246	0,4268	0,7347
Nitrógeno	3	3	54426391	8,1849	0,0002
Densidad*nitrógeno	9	9	19707144	0,9879	0,4635

Cuadro No. 20. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el rendimiento del cultivo para el cultivar SLI09197

Fuente	N parámetros	Gr. de libertad	S. de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	5477947	2,3273	0,0873
Densidad	3	3	5461244	2,3202	0,088
Nitrógeno	3	3	34501941	14,658	<,0001
Densidad*nitrógeno	9	9	3578254	0,5067	0,8618

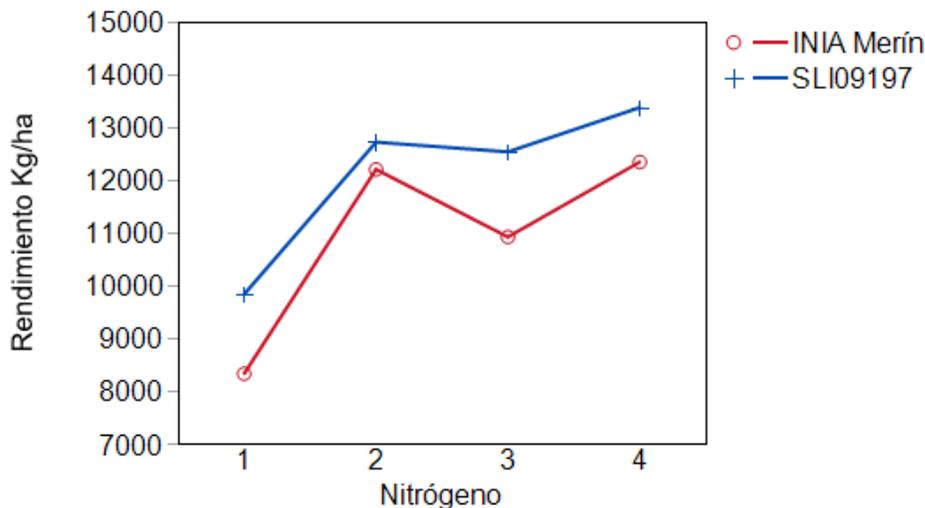


Figura No. 27. Efecto del nitrógeno sobre el rendimiento del cultivo para cada cultivar

El factor nitrógeno tiene un efecto significativo sobre el rendimiento del cultivo en ambos cultivares, en donde para todos los tratamientos nitrogenados el cultivar SLI09197 alcanza rendimientos superiores a los de INIA Merín. La densidad de siembra no tuvo efectos significativos en el rendimiento independientemente del cultivar.

INIA Merín obtuvo significativamente sus mayores rendimientos en los tratamientos N2 y N4, mientras que SLI09197 no generó diferencias significativas entre tratamientos nitrogenados.

4.5.1 Componentes del rendimiento

4.5.1.1 Número de panojas por metro cuadrado

Cuadro No. 21. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el No. de panojas/m² para el cultivar INIA Merín

Fuente	N parámetros	Gr. de libertad	S. de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	35375,517	1,9839	0,1299
Densidad	3	3	1273,549	0,0714	0,9749
Nitrógeno	3	3	5352,509	0,3002	0,8251
Densidad*nitrógeno	9	9	50727,184	0,9483	0,4941

Cuadro No. 22. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el No. de panojas/m² para el cultivar SLI09197

Fuente	N parámetros	Gr. de libertad	S. de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	25825,404	1,4015	0,2547
Densidad	3	3	10254,469	0,5565	0,6465
Nitrógeno	3	3	25440,936	1,3806	0,2609
Densidad*nitrógeno	9	9	54564,35	0,987	0,4639

El No. de panojas/m² no fue afectado por la densidad de siembra, la fertilización nitrogenada o su interacción en ninguno de los cultivares. Los valores medios obtenidos por ambos cultivares fueron de 535 y 579 panojas/m² para INIA Merín y SLI09197 respectivamente.

4.5.1.2 Número de granos por panoja

Cuadro No. 23. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el No. de granos/panoja para el cultivar INIA Merín

Fuente	N parámetros	Gr. de libertad	S. de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	256,79361	0,5653	0,6407
Densidad	3	3	619,12083	1,3629	0,2662
Nitrógeno	3	3	407,18778	0,8964	0,4504
Densidad*nitrógeno	9	9	731,07361	0,5365	0,8401

Cuadro No. 24. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el No. de granos/panoja para el cultivar SLI09197

Fuente	N parámetros	Gr. de libertad	S. de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	95,0731	0,3465	0,7919
Densidad	3	3	659,206	2,4023	0,0807
Nitrógeno	3	3	748,1176	2,7263	0,0557
Densidad*nitrógeno	9	9	2009,0948	2,4405	0,0243

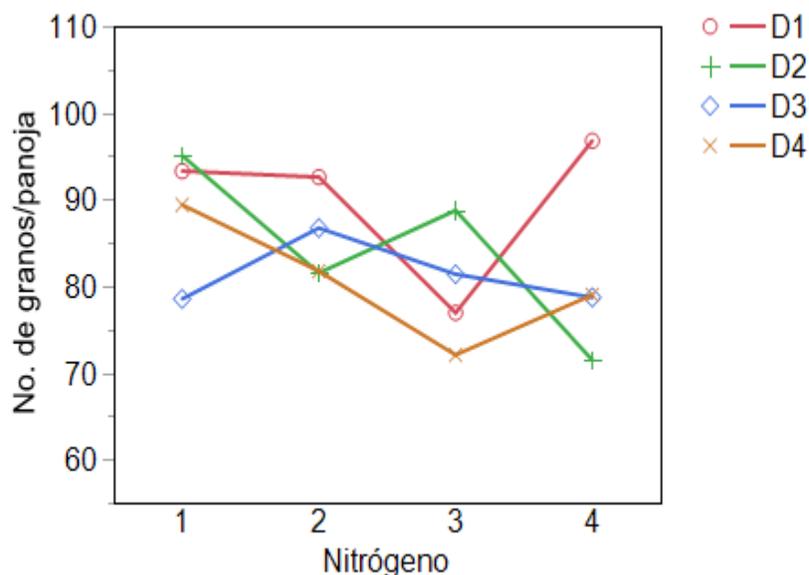


Figura No. 28. Efecto de la interacción densidad y nitrógeno sobre el No. de granos/panoja en el cultivar SLI09197

En el cultivar INIA Merín el No. de granos/panoja no está determinado por efectos significativos de densidad de siembra, fertilización nitrogenada o su interacción, obteniendo una media de 93 granos/panoja. Sin embargo, para SLI09197 el No. de granos/panoja se determina significativamente a partir de la interacción densidad*nitrógeno, en donde los mayores valores están dados por densidades bajas (D1 y D2) y nitrógenos bajos (N1 y N2), con la excepción del tratamiento D1 N4 que alcanzó el máximo valor (96 granos/panoja).

4.5.1.3 Número de granos llenos por metro cuadrado

Cuadro No. 25. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el No. de granos llenos/m² para el cultivar INIA Merín

Fuente	N parámetros	Gr. de libertad	S. de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	535755918	2,5106	0,0706
Densidad	3	3	75714884	0,3548	0,7859
Nitrógeno	3	3	112204781	0,5258	0,6668
Densidad*nitrógeno	9	9	378178593	0,5907	0,7977

Cuadro No. 26. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el No. de granos llenos/m² para el cultivar SLI09197

Fuente	N parámetros	Gr. de libertad	S.de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	58473658	0,406	0,7495
Densidad	3	3	239418759	1,6623	0,1897
Nitrógeno	3	3	415652910	2,8859	0,0468
Densidad*nitrógeno	9	9	832915697	1,9276	0,074

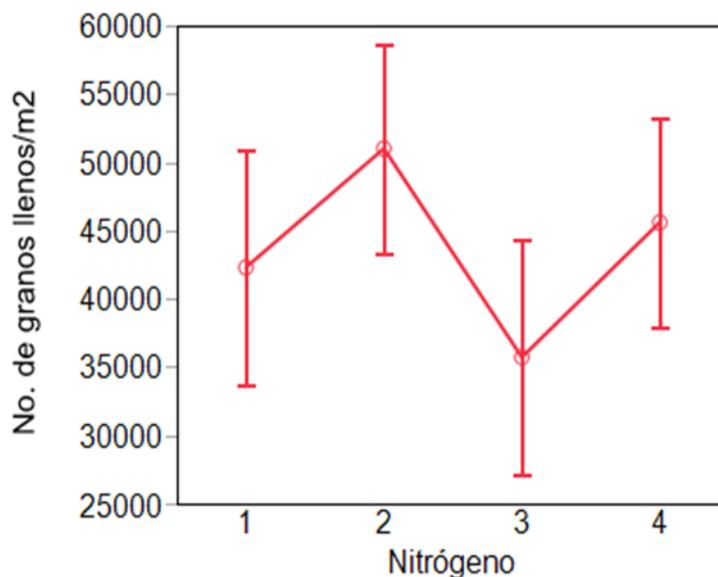


Figura No. 29. Efecto del nitrógeno sobre el No. de granos llenos/m² para el cultivar SLI09197

En el cultivar INIA Merín el No. de granos llenos/m² no estuvo afectado por efectos de densidad de siembra, fertilización nitrogenada o su interacción, obteniendo una media de 45916 granos llenos/m². Sin embargo, en SLI09197 hay un efecto significativo del nitrógeno sobre el No. de granos llenos/m², en donde solo se diferencian significativamente los tratamientos N2 (A) y N3 (B) con medias de 51011 y 35734 granos llenos/m² respectivamente.

4.5.1.4 Peso de mil granos (PMG)

Cuadro No. 27. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el PMG en el cultivar INIA Merín

Fuente	N parámetros	Gr.de libertad	S. de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	7,8661189	10,587	<,0001
Densidad	3	3	0,1486687	0,2001	0,8958
Nitrógeno	3	3	2,4851816	3,3449	0,0275
Densidad*nitrógeno	9	9	1,0848073	0,4867	0,8756

Cuadro No. 28. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el PMG en el cultivar SLI09197

Fuente	N parámetros	Gr. de libertad	S.de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	0,2853037	0,6849	0,5661
Densidad	3	3	0,3220013	0,773	0,5155
Nitrógeno	3	3	2,1926203	5,2639	0,0035
Densidad*nitrógeno	9	9	2,4762347	1,9816	0,0653

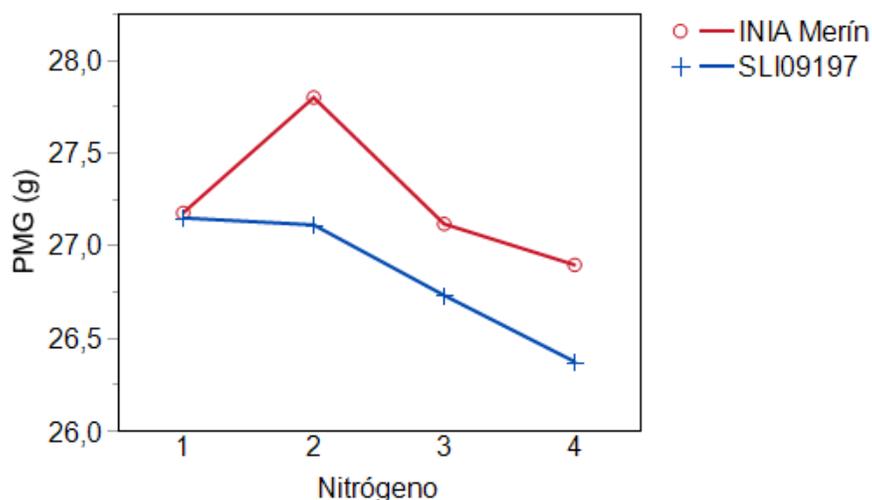


Figura No. 30. Efecto del nitrógeno sobre el peso de mil granos para cada cultivar

El peso de mil granos de los dos cultivares está determinado por la fertilización nitrogenada. En ambos casos los mayores PMG se obtuvieron con los niveles bajos de N, generando una respuesta negativa al aumento en la dosis del mismo. Los valores alcanzados por INIA Merín fueron superiores a los de SLI09197 para todos los casos.

4.5.1.5 Porcentaje de esterilidad de granos

Cuadro No. 29. Prueba de los efectos de los factores densidad y su interacción en el % de esterilidad para el cultivar INIA Merín

Fuente	N parámetros	Gr. de libertad	S.de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	10,919191	0,9635	0,4182
Densidad	3	3	5,950664	0,5251	0,6673
Nitrógeno	3	3	12,38849	1,0932	0,3618
Densidad*nitrógeno	9	9	35,620382	1,0478	0,4187

Cuadro No. 30. Prueba de los efectos de los factores densidad y su interacción en el % de esterilidad para el cultivar SLI09197

Fuente	N parámetros	Gr. de libertad	S. de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	39,912367	1,996	0,1292
Densidad	3	3	1,29173	0,0646	0,9783
Nitrógeno	3	3	15,816913	0,791	0,5058
Densidad*nitrógeno	9	9	68,321858	1,1389	0,3581

El porcentaje de esterilidad de granos en ambos cultivares no estuvo determinado por efectos significativos de la densidad de siembra, fertilización nitrogenada o su interacción. Los valores medios fueron de 7,75 y 11,8 % de esterilidad de grano para INIA Merín y SLI09197 respectivamente, en donde existió una tendencia numérica al aumento en los valores a medida que se aumentó el nivel de N.

No existieron eventos climáticos (días con temperaturas <15°C) que predispusieran a un aumento en los niveles basales de esterilidad.

4.5.2 Índice de cosecha de grano (IC)

Cuadro No. 31. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el índice de cosecha (IC) para el cultivar INIA Merín

Fuente	N parámetros	Gr.de libertad	S.de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	0,02337972	1,1635	0,3344
Densidad	3	3	0,023425	1,1658	0,3336
Nitrógeno	3	3	0,0608988	3,0307	0,0392
Densidad*nitrógeno	9	9	0,12006259	1,9917	0,0633

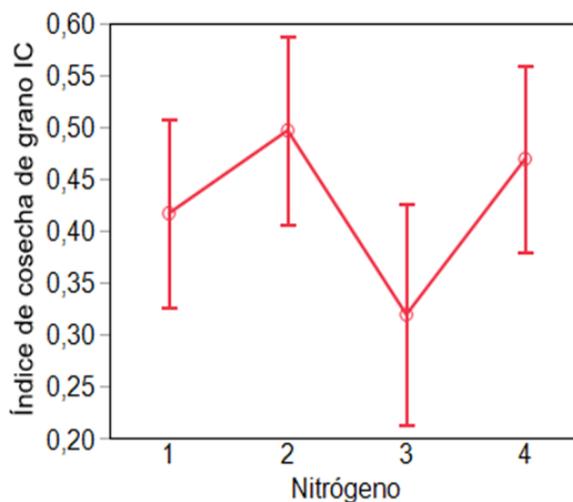


Figura No. 31. Efecto del nitrógeno sobre el IC para el cultivar INIA Merín

Cuadro No. 32. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre el índice de cosecha (IC) para el cultivar SLI09197

Fuente	N parámetros	Gr. de libertad	S.de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	0,01278389	1,4909	0,2301
Densidad	3	3	0,00915	1,0671	0,3728
Nitrógeno	3	3	0,02795	3,2597	0,0303
Densidad*nitrógeno	9	9	0,02657556	1,0331	0,4297

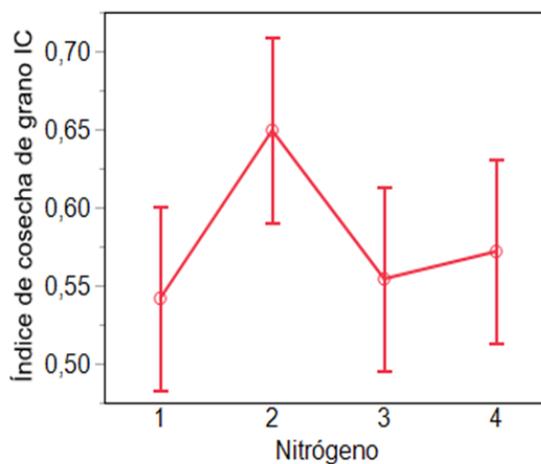


Figura No. 32. Efecto del nitrógeno sobre el IC para el cultivar SLI09197

En ambos cultivares el índice de cosecha está determinado por la fertilización nitrogenada, obteniendo una respuesta similar ante el cambio en los

niveles de N. Por lo tanto, en los dos cultivares el máximo IC se obtiene en el nivel de N2. Los valores de IC obtenidos por SLI09197 son superiores a los de INIA Merín en todos los casos.

La densidad de siembra no generó cambios en el IC en ninguno de los cultivares.

4.5.3 Tasa de crecimiento del cultivo

4.5.3.1 Tasa de crecimiento del cultivo de elongación a 50% de floración

Cuadro No. 33. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre la TCC elongación - 50% floración para el cultivar INIA Merín

Fuente	N parámetros	Gr. de libertad	S.de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	1138,297	0,4502	0,7184
Densidad	3	3	5894,004	2,3313	0,0869
Nitrógeno	3	3	3107,283	1,2291	0,3102
Densidad*nitrógeno	9	9	20659,373	2,7239	0,0126

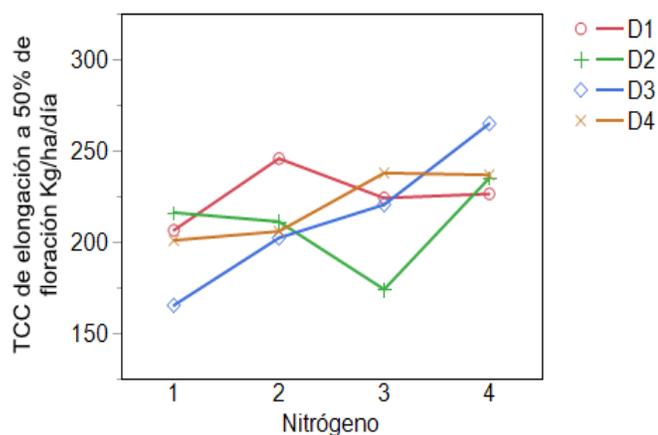


Figura No. 33. Efecto de la interacción densidad y nitrógeno sobre la TCC elongación - 50% de floración para el cultivar INIA Merín

Cuadro No. 34. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción sobre la TCC elongación - 50% floración para el cultivar SLI09197

Fuente	N parámetros	Gr.de libertad	S. de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	10646,698	2,4307	0,0775
Densidad	3	3	950,412	0,217	0,8841
Nitrógeno	3	3	16780,951	3,8312	0,0158
Densidad*nitrógeno	9	9	3868,659	0,2944	0,9727

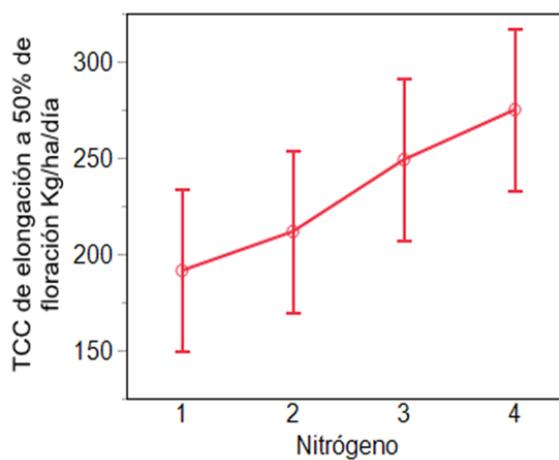


Figura No. 34. Efecto del nitrógeno sobre la TCC elongación - 50% de floración para el cultivar SLI09197

Ambos cultivares difieren en la determinación de la TCC en el período elongación – 50% de floración. En el caso de INIA Merín ésta se determinó a partir de la interacción significativa de densidad de siembra y fertilización nitrogenada, en donde los mayores valores se obtuvieron a partir de las combinaciones de densidades D3, D4 y nitrógenos N3, N4. En el mismo sentido SLI09197 solo presentó una significativa respuesta a la fertilización nitrogenada, en donde a medida que se aumentó el nivel de N la TCC fue mayor.

4.5.3.2 Tasa de crecimiento de 50% de floración a 20 días post. 50% de floración

Cuadro No. 35. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción para la TCC floración - 20 días post. para el cultivar INIA Merín

Fuente	N parámetros	Gr. de libertad	S. de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	140054,45	2,5825	0,065
Densidad	3	3	13553,46	0,2499	0,861
Nitrógeno	3	3	192491,7	3,5494	0,0217
Densidad*nitrógeno	9	9	166836,95	1,0254	0,4349

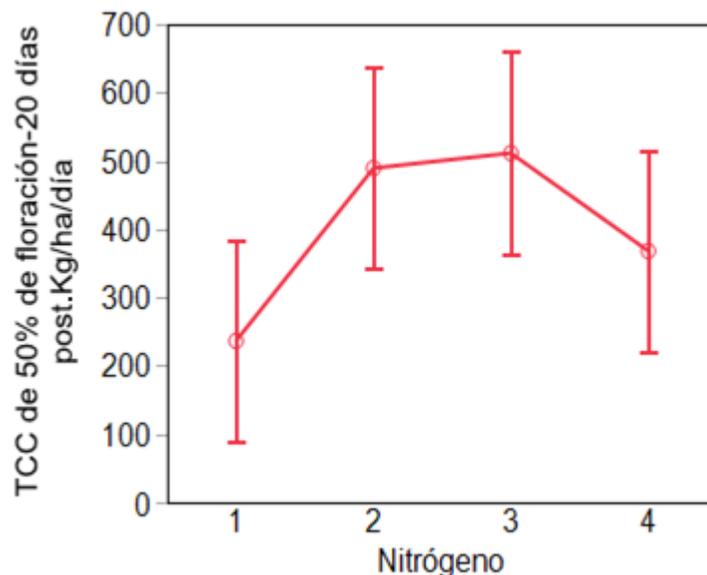


Figura No. 35. Efecto del nitrógeno sobre la TCC 50% floración - 20 días post. 50% de floración para el cultivar INIA Merín

Cuadro No. 36. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción para la TCC floración - 20 días post. para el cultivar SLI09197

Fuente	N parámetros	Gr. de libertad	S. de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	161553,27	2,0186	0,1248
Densidad	3	3	90664,86	1,1328	0,346
Nitrógeno	3	3	106428,46	1,3298	0,2765
Densidad*nitrógeno	9	9	291188,67	1,2128	0,3112

Para el cultivar INIA Merín la TCC en el período 50% de floración – 20 días post. está determinada por el nivel de fertilización nitrogenada en donde los mayores valores fueron alcanzados por los tratamientos N2 y N3. Sin embargo, en SLI09197 la TCC para ese período no fue afectada por densidad de siembra, fertilización nitrogenada o su interacción, obteniendo una media de 332 Kg/ha/día.

INIA Merín obtuvo una significativa respuesta en la TCC al pasar de N1 a N2 y N3, disminuyendo de igual manera al pasar a N4.

4.5.3.3 Tasa de crecimiento de 20 días post. 50% de floración – madurez fisiológica

Cuadro No. 37. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción para la TCC 20 días post. 50% de floración - madurez fisiológica para el cultivar INIA Merín

Fuente	N parámetros	Gr. de libertad	S.de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	14314,89	0,5079	0,6788
Densidad	3	3	17331,59	0,6149	0,6089
Nitrógeno	3	3	139043,39	4,9332	0,0048
Densidad*nitrógeno	9	9	73212,38	0,8658	0,5618

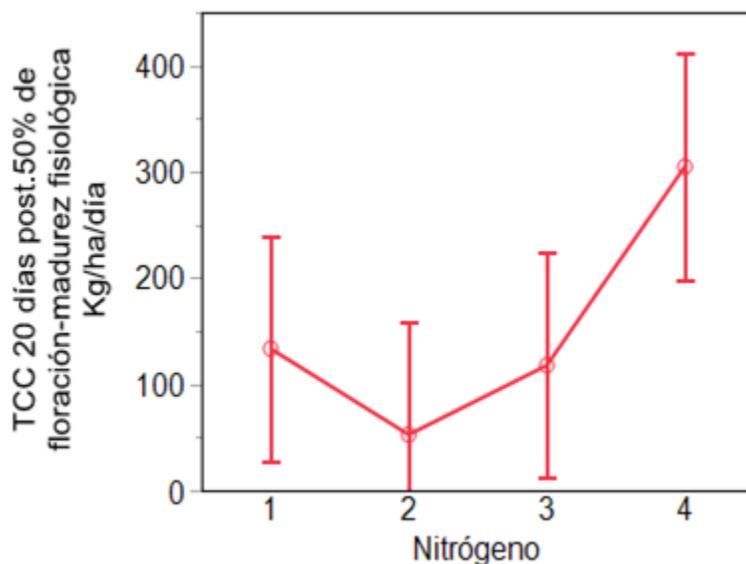


Figura No. 36. Efecto del nitrógeno sobre la TCC en el período 20 días post. 50% de floración - madurez fisiológica para el cultivar INIA Merín

Cuadro No. 38. Prueba de los efectos de densidad, nitrógeno y su interacción para la TCC 20 días post. 50% de floración - madurez fisiológica para el cultivar SLI09197

Fuente	N parámetros	Gr.de libertad	S.de cuadrados	Razón F	Prob. > F
Bloque	3	3	51074,18	0,9766	0,4122
Densidad	3	3	47109,33	0,9008	0,4483
Nitrógeno	3	3	156349,68	2,9895	0,0408
Densidad*nitrógeno	9	9	169986,46	1,0834	0,3935

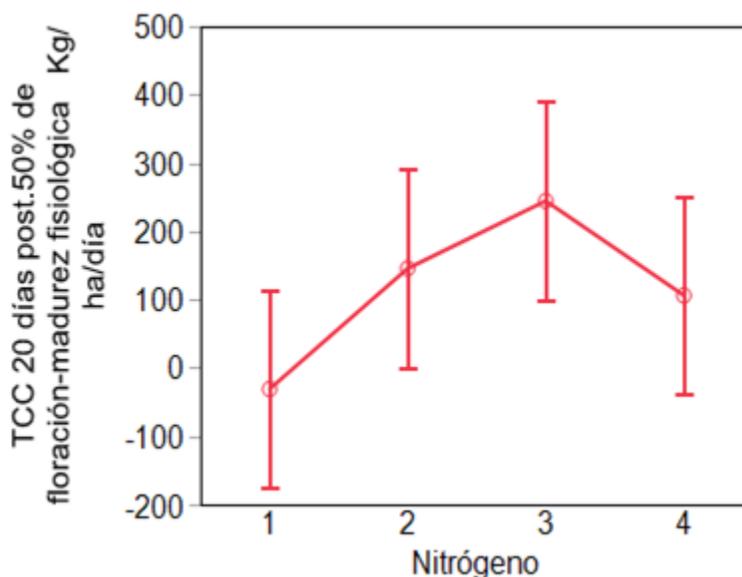


Figura No. 37. Efecto del nitrógeno sobre la TCC en el período 20 días post. 50% de floración - madurez fisiológica para el cultivar SLI09197

Para ambos cultivares la TCC en el período 20 días post. 50% de floración - madurez fisiológica está determinada significativamente por el nivel de fertilización nitrogenada. La respuesta al nitrógeno difiere para cada cultivar ya que INIA Merín no presentó una significativa respuesta al pasar de N1 a N2 y N3, aumentando su TCC en N4. El comportamiento de Merín para este período es inverso al del período 50% de floración - 20 días post. 50% de floración.

Por otra parte, SLI09197 al igual que INIA Merín no obtuvo una respuesta significativa hasta N3, disminuyendo significativamente su TCC en N4.

4.6 ANÁLISIS DE CLÚSTER

Se realizó un análisis de clúster, teniendo en cuenta un conjunto de variables informativas acerca del crecimiento de la canopia y del nivel de productividad del cultivo en los cinco momentos fenológicos del mismo, el cual dio como resultado tres clústeres de distinto nivel de rendimiento.

Cuadro No. 39. Análisis de clúster teniendo en cuenta cinco momentos fenológicos del cultivo y cuatro variables informativas: IAF, biomasa total (Kg/ha), No. de tallos/m² y longitud de planta (cm)

Variable	Clúster						
	1	2	3	ns			
Rendimiento (kg/ha)	13316	A	12264	B	9478	C	***
Madurez fisiológica							
IAF	2,47	A	1,96	B	1,61	C	***
Biomasa total (Kg/ha)	25576	A	23956	B	19101	C	***
No. tallos/m ²	714	A	621	B	551	C	***
Longitud de planta (cm)	77,69	A	78,25	A	74,51	B	**
20 días post. floración							
IAF	5,72	A	4,24	B	3,62	C	***
Biomasa total (Kg/ha)	21820	A	19415	B	17467	C	***
No. tallos/m ²	716	A	595	B	578	B	***
Longitud de planta (cm)	81,23	A	78,91	B	74,74	C	***
50% floración							
IAF	6,83	A	5,08	B	4	C	***
Biomasa total (Kg/ha)	14289	A	11954	B	9970	C	***
No. tallos/m ²	700	A	580	B	535	C	***
Longitud de planta (cm)	74,76	A	76,65	A	69,75	B	***
Elongación							
IAF	4,03	A	3,35	B	2,11	C	***
Biomasa total (Kg/ha)	2789	A	2555	B	1692	C	***
No. tallos/m ²	995	A	862	B	673	C	***
Longitud de planta (cm)	50,18	A	47,8	B	43,4	C	***
Macollaje							
Biomasa total (Kg/ha)	80,17	A	76,32	A	74,91	A	ns

Las variables y parámetros están determinados por las variaciones generadas a partir de las distintas combinaciones de densidad de siembra y fertilización nitrogenada para los dos cultivares en estudio.

Por lo tanto, se identificaron tres clúster, en donde los niveles de rendimientos alcanzados son significativamente diferentes entre ellos, generando grupos de bajo, medio y alto rendimiento de acuerdo al potencial de ambos cultivares y la magnitud de las variables.

Excepto a macollaje, para el resto de los estadios fenológicos del cultivo se generaron diferencias significativas entre los parámetros de las variables informativas. Por lo que, al igual que con el rendimiento, se generan grupos extremos para las variables.

La variable altura de planta no presentó diferencias significativas entre el grupo de alto y medio rendimiento (77,69 (A) y 78,25 (A) cm), sin embargo, se diferencia estadísticamente en el clúster de bajo rendimiento, el cual posee una altura de planta menor (74,51 B).

Cuadro No. 40. Diferenciación de los clústeres, según los tratamientos que los conforman en función de cultivar, densidad de siembra y nivel de nitrógeno

Factores	Casos					
	Clúster 1		Clúster 2		Clúster 3	
	No.	%	No.	%	No.	%
INIA Merín SLI09197	4	(7)	34	(56)	23	(38)
	23	(38)	25	(41)	13	(21)
D1	3	(10)	17	(59)	9	(31)
D2	7	(22)	16	(50)	9	(28)
D3	8	(27)	13	(43)	9	(30)
D4	8	(27)	13	(43)	9	(30)
N1	0	(0)	3	(9)	29	(91)
N2	5	(17)	19	(66)	5	(17)
N3	8	(26)	21	(68)	2	(6)
N4	14	(45)	17	(55)	0	(0)

Con la determinación de la composición de cada clúster, se puede observar que el clúster 1 (alto rendimiento) está conformado principalmente por el cultivar SLI09197, ya que presenta 23 de los 27 casos que lo componen. Además, este clúster se caracteriza por la alta fertilización nitrogenada ya que dominan los tratamientos (N3 y N4), en donde la densidad no es de mucha relevancia, pero los casos de densidades bajas (D1) son solo tres.

Por otra parte los cuatro tratamientos de INIA Merín que componen el clúster 1, se caracterizan por la alta fertilización nitrogenada, ya que tres de ellos se corresponden con N4 y el restante con N3. En cuanto a la densidad de siembra, estos parten de altas densidades (D3 y D4), en donde la D3 siempre

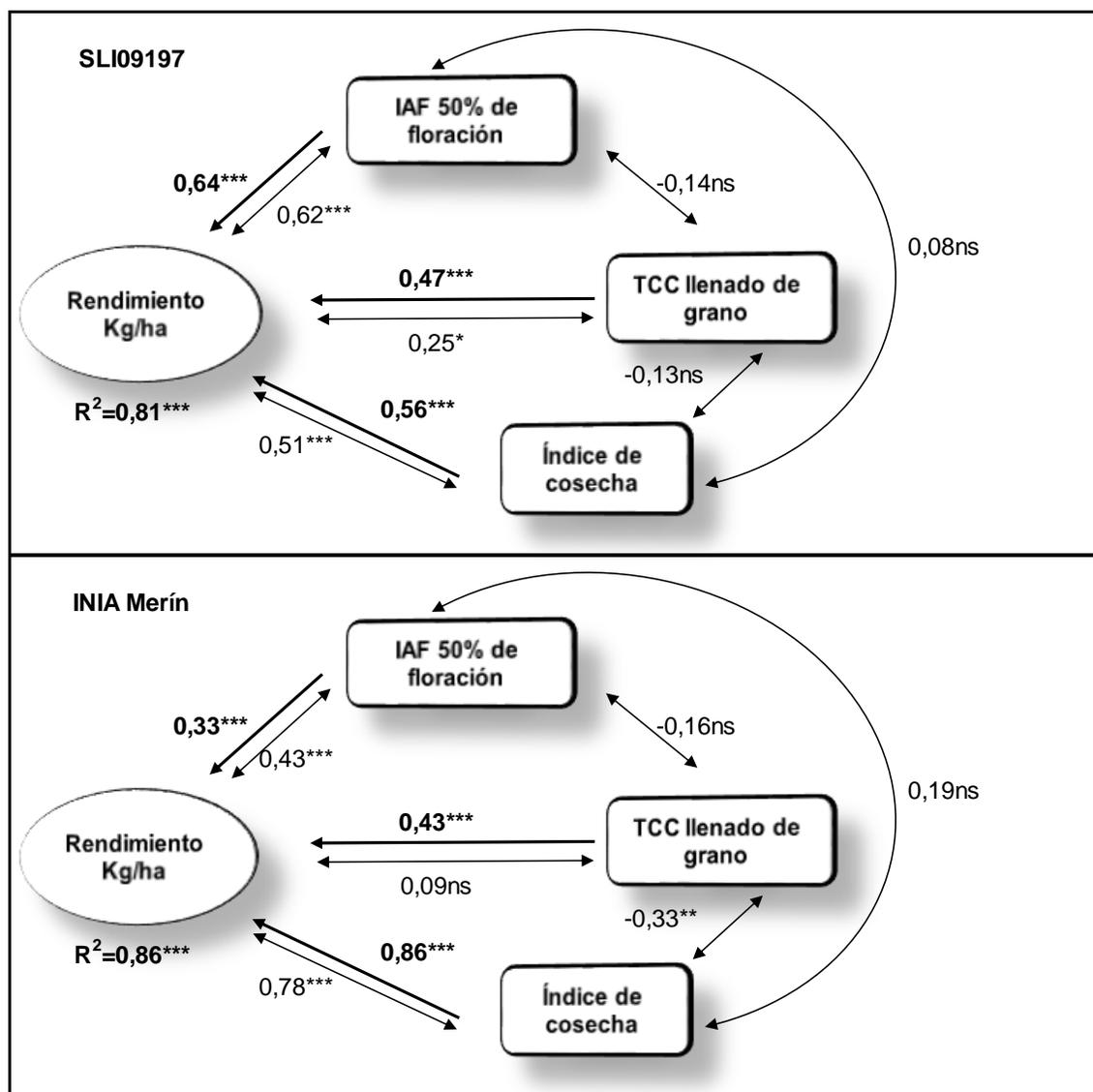
se combinó con N4 en los cuatro tratamientos para la concreción de altos rendimientos. Por lo tanto, las combinaciones de densidad y nitrógeno restantes, pertenecen a SLI09197, lo que muestra la plasticidad de este cultivar para obtener altos rendimientos en distintos escenarios (combinaciones de densidad de siembra y fertilización nitrogenada). Debido a esto, es que cuando se partió de densidades bajas (D1), al corresponderse con alto nivel nitrogenado (N4), se llega a altos rendimientos (datos no mostrados).

Sin embargo, el clúster 3 (bajo rendimiento), está mayoritariamente compuesto por INIA Merín, acompañado de los nitrógenos cero (N1) que representan 29 de los 36 casos, en donde la densidad es insignificante ya que se equipara en 9 casos para cada tratamiento.

El cultivar SLI09197 además de presentar un rendimiento medio superior al de INIA Merín, obtuvo una mayor frecuencia en cuanto al posicionamiento en los clúster de alto y medio rendimiento, siendo de 38 y 41% de los casos respectivamente. Por otro lado, INIA Merín se caracterizó por pertenecer con mayor frecuencia a los clúster de medio y bajo rendimiento, ya que se presentó con un 56 y 38% de los casos respectivamente.

4.7 MODELOS DE FORMACIÓN DEL RENDIMIENTO

4.7.1 Formación del rendimiento a partir de características agronómicas



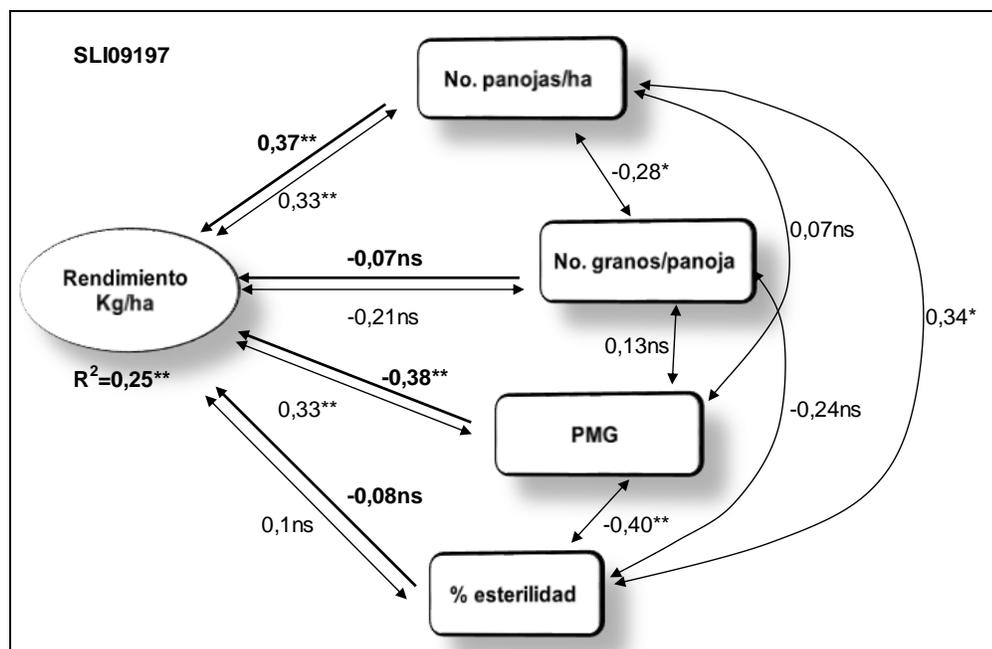
Referencias: flechas unidireccionales y números en negrita (coeficiente path, ns=0,05) hacen referencia al efecto directo de la variable independiente sobre otra dependiente (rendimiento). Flechas bidireccionales y números sin negrita hacen relación a la correlación entre las variables (r). Los niveles de significancia se corresponden *= ns a 5%; **= ns a 1%; ***= ns <1%.

Figura No. 38. Modelos de formación del rendimiento para los cultivares SLI09197 e INIA Merín

De acuerdo a los modelos planteados en la Figura No. 38, los cultivares en estudio difieren en cuanto a la formación del rendimiento. Si bien las tres variables relacionadas son significativas en ambos modelos, los efectos de cada una de ellas sobre el rendimiento difieren entre cultivares. Por lo tanto en SLI09197 el rendimiento se explica principalmente por el IAF a 50% de floración (0,64***), mientras que en INIA Merín éste se explica a partir del índice de cosecha (0,86***).

De acuerdo a la TCC durante llenado de grano, el efecto de la variable es similar en ambos cultivares, pero ésta se encuentra mayormente correlacionada con el rendimiento en forma significativa en el cultivar SLI09197. Por otra parte esta variable en INIA Merín presenta una correlación negativa y significativa con el IC, el cual es la variable que más impacto tiene sobre el rendimiento para este cultivar.

4.7.2 Formación del rendimiento a partir de sus componentes



Referencias: flechas unidireccionales y números en negrita (coeficiente path, ns=0,05) hacen referencia al efecto directo de la variable independiente sobre otra dependiente (rendimiento). Flechas bidireccionales y números sin negrita hacen relación a la correlación entre las variables (r). Los niveles de significancia se corresponden *= ns a 5%; **= ns a 1%; ***= ns <1%.

Figura No. 39. Modelos de formación del rendimiento para el cultivar SLI09197 a partir de los distintos componentes

Como se observa en la Figura No. 39, el modelo de formación del rendimiento para el cultivar SLI09197 determina que los componentes que

tienen mayor efecto sobre el rendimiento son el No. de panojas/m² y el PMG. El valor absoluto del coeficiente al igual que su significancia es igual para ambas variables, las cuales difieren en el sentido del efecto, ya que el PMG impacta negativamente sobre el rendimiento, mientras que el No. de panojas/m² lo hace positivamente. A su vez la correlación entre ambas es positiva, pero de bajo valor absoluto y no significativa (0,07).

En cuanto a INIA Merín no se encontró un modelo que explicara la formación del rendimiento a partir de sus componentes. Al plantear un modelo igual al de la Figura No. 39, la variable que significativamente tuvo un efecto sobre el rendimiento fue el % de esterilidad ($P < 0,0001$). Este se correlaciona lineal y positivamente con el rendimiento, pero en un rango de valores en donde la esterilidad no es un problema para el cultivo, ya que abarca valores de esterilidad que van desde 4 a 12% para rendimientos promedio de 6000 a 15000 Kg/ha respectivamente. A su vez si se analiza la misma variable para el cultivar SLI09197, ésta no tuvo efecto significativo, y además impacta en forma negativa sobre el rendimiento.

5. DISCUSIÓN

Ambos cultivares en estudio permitieron evaluar características propias del tipo de planta y formación de la canopia, ya que son de igual biotipo, demostrando alcanzar altos potenciales de rendimiento en largo de ciclos similares.

Al momento de cuantificar la implantación en ambos cultivares se logró generar la variación deseada en las cuatro densidades de siembra. INIA Merín tuvo una respuesta lineal en el No. de plantas/m² frente al aumento en la densidad de siembra (Figura No. 5), mientras que SLI09197 a partir de la D3 presentó un plateau (Figura No. 6). Las densidades D2 y D3 en SLI09197 y las densidades D3 y D4 para INIA Merín serían aquellas densidades óptimas que permitieron obtener un stand de plantas de entre 250 y 300 plantas/m², coincidiendo con el rango de poblaciones óptimas citadas por (Marchesi, 2017).

En cuanto a la D1, el No. de plantas/m² logrado es muy bajo ya que ronda las 120 plantas/m², en donde en un rango de poblaciones manejadas de 50 a 250 plantas/m² el óptimo se obtendría entre 200 y 250 plantas/m² (Pérez de Vida y Ramírez, 2012), por lo tanto el uso de esta densidad no sería recomendable para el establecimiento del cultivo. Por otra parte, la D4 si bien se encuentra dentro del óptimo no siempre tiene por qué traducirse en mayor rendimiento, ya que un exceso de plantas puede inhibir el macollamiento, o favorecer la producción de panojas más pequeñas (Marchesi, 2017).

La acumulación de materia seca total a lo largo del ciclo no fue similar entre los cultivares, existiendo diferencias numéricas en el período comprendido de elongación a llenado de granos temprano, precisamente en el momento de la floración en donde existe una superioridad del cultivar SLI09197 con respecto a INIA Merín (Figura No. 7). Esto se debe a un mayor desarrollo foliar del cultivar SLI09197 en esta etapa. La producción de materia seca en la planta de arroz está estrechamente relacionada con su área foliar, por lo tanto cuando el IAF es alto se espera una alta acumulación de materia seca (Santos et al., citados por Villalba et al., 2017).

El incremento en la disponibilidad de nitrógeno aumentó la biomasa total acumulada (Figuras No.8 y No.9). Las diferencias entre los cultivares están dadas en su tasa de crecimiento en diferentes etapas, INIA Merín presentó su mayor tasa en el período comprendiendo elongación - llenado de granos temprano (20 días post. 50% floración - madurez fisiológica); mientras que, SLI09197 se caracterizó por un crecimiento a mayor tasa hasta floración, decayendo luego. De acuerdo a Maqueira et al. (2007) el mayor rendimiento está asociado a la acumulación precoz y de mayor magnitud de materia seca en la canopia. Esta es una de las causas posibles que hacen que SLI09197 supere en rendimiento a INIA Merín (Figura No. 27), ya que acumula mayor cantidad de

materia seca tempranamente (de elongación a 20 días post. 50% de floración), lo que a su vez se traduce en un mayor IAF, dando lugar a mayor producción de fotoasimilados.

La densidad de siembra presentó un efecto significativo en la definición del No. de plantas/m²; sin embargo, no ocurre lo mismo para la producción de materia seca total a madurez, indicativo de procesos de compensación en la canopia. Esta compensación en el crecimiento ocurrió en ambos cultivares en estudio (Cuadros No. 2 y No. 3).

En el cultivar INIA Merín -aun partiendo de niveles de implantación diferentes (No. de plantas/m²)-, el No. de tallos logrados/m² a madurez fisiológica es estadísticamente igual en las cuatro densidades de siembra (Figura No. 18). Sin embargo, en D1 se registró una mayor producción tardía de la materia seca, siendo la superioridad en esta densidad con respecto a las restantes evaluadas a partir del muestreo de 20 días post. floración (Figura No. 10). En madurez fisiológica se desarrollaron tallos, vainas y láminas (Cuadro No. 10) de mayor biomasa contribuyendo a mayor materia seca total; sin embargo, no se tradujo en un mayor rendimiento. Este bajo índice de cosecha (0,44) sería consecuencia de la formación de una fosa reducida comparativamente, dada por panojas de mayor capacidad de acumulación de biomasa (número de granos totales y peso de 1000 granos) pero con un número inferior de las mismas por m². En general una mayor acumulación de biomasa determinaría un mayor rendimiento, sin embargo de acuerdo a Maqueira et al. (2009), la distribución de la materia seca dentro de la planta juega un papel importante en la determinación del rendimiento. En este sentido, en situaciones de fosa reducida (panículas removidas manualmente), tallos y vainas sustituyen a las panículas en la función de fosa en la etapa temprana de maduración, y los macollos tardíos funcionan como fosa en la última etapa (Kato et al., 2006), produciendo mayor biomasa sin generar rendimiento. De modo similar, en las condiciones de este experimento podrían haberse dado condiciones post. floración para un activo crecimiento del cultivo, pero limitado por su capacidad de fosa para expresar una mayor alocaión de la biomasa en granos.

Por otra parte, el No. de plantas/m² y el No. de tallos/m² logrados reflejan una de las características que diferencian a los dos cultivares en cuanto a la formación de la canopia, ya que el macollaje efectivo de ambos difiere. En este sentido, mientras que SLI09197 demuestra su capacidad de compensar a través del proceso de macollaje, con un macollaje efectivo que se mantiene constante en 450 tallos/m² para todas las densidades de siembra (Figura No. 19); en INIA Merín, ocurre lo contrario ya que su capacidad de macollaje disminuye a medida que aumenta la competencia (Figura No. 18) y por ende su

macollaje efectivo disminuyó al pasar de D1 a D4 (463 y 268 tallos/m², respectivamente).

En relación con la partición de la materia seca, ambos cultivares difieren (Cuadro No. 12); SLI09197 particiona una mayor cantidad de la materia seca hacia la producción de lámina en los estadios de elongación y 50% de floración, siendo de 0,15 y 0,32 Kg/m² respectivamente, mientras que INIA Merín presenta una distribución de 0,13 y 0,27 Kg/m² para los mismos estadios. Esto explica que SLI09197 presente un mayor IAF a 50% de floración (Figura No. 21) y a su vez una mayor producción de materia seca en ese período. La producción de materia seca en la planta de arroz está estrechamente relacionada con su área foliar, entonces cuando el IAF es alto se espera una alta acumulación de materia seca (Jarma et al. 2010, Santos et al., citados por Villalba et al. 2017).

La materia seca acumulada en tallos fue estadísticamente igual en los estadios comprendidos de 50% de floración-madurez fisiológica; ocurriendo lo contrario con la materia seca acumulada en vainas, la cual disminuyó significativamente a partir de 20 días post. floración (datos no mostrados). Esto da indicios de que ocurrió cierta removilización de sustancias de reserva que aportan a la demanda de la fosa (Tang et al., 2007); lo cual no coincide con Maqueira et al. (2015) que determinaron que en el segundo y tercer entrenudo del tallo es donde se aprecia una mayor disminución de la materia seca desde la antesis hasta los 20 días después de la misma debido a que la demanda de los destinos supera la capacidad de producción fotosintética. Esto demuestra que en ambos cultivares las vainas se comportan como órganos de almacenamiento temporal de fotoasimilados hasta 50% de floración. Por lo que este órgano son tributaria al llenado de los granos con un aporte considerable a la formación del rendimiento (Maqueira et al., 2015).

La radiación interceptada por el cultivo desde el inicio de la formación de la panícula hasta su maduración es esencial para la acumulación de materia seca fundamentalmente a través del IAF y de esta manera se relaciona con el rendimiento (López, citado por Díaz et al., 2013), vía por la cual SLI09197 empieza a gestar un mayor potencial de rendimiento. En este sentido, ambos cultivares difieren en el desarrollo foliar, en donde a 50% de floración SLI09197 supera en IAF a INIA Merín (Figura No. 21), estadio crítico en la definición del rendimiento. El IAF a 50% de floración estuvo determinado por efectos de la interacción densidad * nitrógeno en el cultivar INIA Merín y por efectos del nitrógeno en SLI09197, siendo la etapa en la cual se alcanza la mayor superficie foliar por área de suelo en el cultivo del arroz, pues en ella se tiene un alto número de tallos y mayor cantidad de hojas activas por planta (Maqueira et al., 2007). Esta diferencia entre cultivares se debe a razones determinadas por la arquitectura de planta (macollaje y estructura), alcanzando valores promedio

de 4,53 y 3,65 para SLI09197 e INIA Merín respectivamente. Por lo tanto, el desarrollo de un IAF óptimo es función del tipo de planta y de su arquitectura, ya que dicho valor de IAF se obtiene con densidades de plantas diferentes (Pérez de Vida y Ramírez, 2012). En el mismo sentido, la densidad de siembra no presentó un efecto significativo sobre el IAF en SLI09197 pero en INIA Merín los máximos valores de IAF son alcanzados por las combinaciones de altas densidades y alta fertilización nitrogenada (Figura No. 22). Por otra parte, SLI09197 obtuvo una positiva respuesta significativa en el IAF frente al aumento de la fertilización nitrogenada (Figura No. 23).

Estos valores de IAF determinan que ambos cultivares alcancen un alto potencial de rendimiento, ya que bajo varias combinaciones de los factores agronómicos se alcanzan valores de IAF entre 5 y 7. De esta manera Maqueira et al. (2010) determinaron que los mayores rendimientos están atribuidos a mayores valores de IAF (>4), en donde los máximos rendimientos fueron logrados por aquellos cultivos en que los valores de IAF fueron entre 7 y 8. En el mismo sentido Pérez de Vida y Ramírez (2012) determinaron que la mayor expresión del rendimiento en los cultivares resulta de obtener un IAF a 50% floración entorno a 6, generalmente aceptado como IAF óptimo. El cultivar SLI09199 tiene la capacidad de generar altos valores de IAF a 50% de floración, adquiriendo mayor plasticidad para la formación del rendimiento ante la variación en los factores agronómicos.

El rendimiento del cultivo estuvo determinado por efectos de la fertilización nitrogenada en ambos cultivares, sin existir efectos de densidad de siembra (Cuadros No. 19 y No. 20). Este último factor de manejo incide en la curva de crecimiento y desarrollo foliar, por lo que en densidades bajas, la mayoría de los casos pertenecen a grupos de menores productividades (Pérez de Vida y Ramírez, 2012).

El cultivar SLI09197 superó numéricamente en rendimiento a INIA Merín en todos los tratamientos. La respuesta a la fertilización nitrogenada fue positiva para ambos cultivares. La respuesta a la fertilización nitrogenada difirió entre cultivares ya que en SLI09197 luego de N2 no hubo diferencias significativas con N3 y N4, mientras que para INIA Merín el tratamiento N3 generó significativamente un menor rendimiento con respecto a N2 y N4 que estadísticamente fueron iguales. Esto da indicios de que existió un efecto de la partición en la fertilización nitrogenada, ya que un nivel de fertilización de 55 Kg/ha de N a macollaje tendió a obtener un mayor rendimiento que 75 Kg/ha de N dividido 60-40% entre macollaje y primordio respectivamente. Por lo tanto, en N3 la dosis a macollaje sería baja para una mayor producción materia seca, elevado macollaje y generación de un alto IAF.

INIA Merín demuestra la necesidad de una alta fertilización a macollaje y la importancia de la fertilización a primordio para concretar altos rendimientos.

En el mismo sentido Ida et al., citados por Hirzel et al. (2011) determinaron que aplicaciones de N en la etapa de partida mejoraron el rendimiento, lo que apoya la práctica de aplicar una fracción de la tasa de N en el momento de primordio. La cantidad de N requerida por la planta varía de acuerdo a la fase de desarrollo y de las condiciones ambientales, siendo los momentos de mayor absorción en la planta máximo macollamiento e inicio de floración (Scivittaro y Machado, citados por Acevedo et al., 2011).

En cuanto a los componentes del rendimiento, el No. de panojas/m² no fue afectado por efectos de densidad de siembra o fertilización nitrogenada en ambos cultivares (Cuadros No. 21 y No. 22), obteniendo 535 y 579 panojas/m² para INIA Merín y SLI09197 respectivamente. Este es el principal componente que afecta el rendimiento, ya que se establece durante el período vegetativo, siendo fundamental el nitrógeno para lograr un alto macollaje y acumulación de biomasa (Díaz et al., 2013). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Pérez de Vida y Molina (2011a), en donde no hubo efectos de fertilización nitrogenada en el No. de panojas/m² alcanzado (540 panojas/m²).

EL mayor No. de panojas/m² por parte de SLI09197 está relacionada con su alta capacidad de macollaje. Una parte importante del rendimiento de grano está explicada por la variación en la densidad de panojas, indicando la importancia de la capacidad de macollaje del cultivar en la obtención de altos rendimientos por su efecto en la producción de panojas (Quezada et al., 2013). La alta capacidad de macollaje le confiere plasticidad frente a la variación de los factores climáticos y de manejo (densidad de siembra y fertilización nitrogenada), ya que adquiere la capacidad de compensar y obtener un número óptimo de panojas por unidad de superficie en una gama amplia de densidades. De acuerdo a esto, el macollaje en arroz está asociado a la plasticidad de respuesta a la densidad de siembra interfiriendo en el rendimiento (Acevedo et al., 2011).

El No. de granos/panoja para el cultivar SLI09197 está determinado por efectos de la interacción densidad de siembra y fertilización nitrogenada, mientras que en INIA Merín no hubo efectos significativos de los factores en estudio (Cuadros No. 23 y No. 24). Los mayores valores de No. de granos/panoja en SLI09197 fueron alcanzados por densidades bajas y nitrógenos bajos (Figura No. 28) mientras que en INIA Merín se obtuvo una media de 93 granos/panoja presentando una correlación negativa con el No. de panojas/m². Esto coincide con lo establecido por Pérez de Vida y Molina (2011a) donde los cultivares indican construyen su potencial de rendimiento debido a un alto No. de panojas/m² y un bajo No. granos/panoja. A su vez estos resultados de INIA Merín coinciden con los obtenidos por Rodríguez et al. (2002), donde el No. de granos/panoja no fue afectado por efectos de la densidad o la fertilización nitrogenada. Estos datos no coinciden con los

obtenidos por Marchesi (2017) que hace referencia a una respuesta positiva en el No. de granos/panoja para el cultivar SLI09197 frente al aumento en la densidad de siembra.

Por otra parte, el No. de granos/m² en el cultivar SLI09197 fue afectado significativamente por la fertilización nitrogenada mientras que en INIA Merín no hubo efecto significativo de los factores (Cuadros No. 25 y No. 26). El mayor No. de granos llenos/m² en SLI09197 se obtuvo con el tratamiento de N2. En el mismo sentido al intentar maximizar los rendimientos se hace necesario incrementar el No. granos llenos/m², esto se logra aumentando el número de panojas efectivas/m² o el número de granos por panoja (Jaramillo et al., 2002). Es posible aumentar el No. de granos/m², aumentando la absorción de nitrógeno en las etapas desde germinación de la semilla hasta diferenciación tardía de espiguillas (Matsuo, citado por Jaramillo et al., 2002).

El peso de mil granos (PMG) está explicado significativamente por efectos de la fertilización nitrogenada en ambos cultivares (Cuadros No. 27 y No. 28), no existiendo efecto de la densidad de siembra. Esto no coincide con Rodríguez et al. (2002) que determinaron que el PMG fuera determinado únicamente por el cultivar. En el mismo sentido Quezada et al. (2013) determinaron que el PMG no presentó diferencias significativas para N.

INIA Merín superó a SLI09197 en PMG para todos los tratamientos. Esto se debe al mayor rendimiento en SLI09197 ya que en este cultivar el PMG presentó un efecto negativo (-0,38) sobre el rendimiento (Figura No. 39). El comportamiento del PMG está explicado por la compensación fisiológica de la planta que al aumentar el No. granos/panoja el peso de los mismos disminuye (Jaramillo et al., 2002). SLI09197 muestra una mayor tendencia a disminuir el PMG a medida que se aumentó la fertilización nitrogenada, no ocurriendo lo mismo para INIA Merín (Figura No. 30).

El porcentaje de esterilidad de granos no fue afectado por la densidad de siembra o fertilización nitrogenada en ambos cultivares (Cuadros No. 29 y No. 30) en donde SLI09197 superó a INIA Merín (12 y 7,84%, respectivamente). Estos datos no coinciden con Rodríguez et al. (2002), en donde el % de esterilidad mostró significativa respuesta a nitrógeno, no modificándose por cambios en la densidad de siembra. Lo cual concuerda con Pérez de Vida y Molina (2011a) que determinaron que el porcentaje de flores que no se concretaron en granos se debe al cultivar, sin haber efectos de fertilización nitrogenada.

La esterilidad en ambos cultivares no es alta con relación a los rendimientos alcanzados, ya que Garcés y Restrepo (2015) consideran altas a esterilidades mayores al 20% para rendimientos de 7000 Kg/ha.

El índice de cosecha de grano en ambos cultivares estuvo determinado por efectos de fertilización nitrogenada (Cuadros No. 31 y No. 32). El cultivar SLI09197 obtuvo niveles superiores de IC para todas las dosis de N, lo que demuestra la capacidad del cultivar de destinar una mayor parte de la producción de biomasa total al rendimiento (Jarma et al., 2010). Esto explica el mayor rendimiento por parte de SLI09197, ya que ambos cultivares no se diferenciaron en la producción de materia seca total a madurez fisiológica. En el mismo sentido, el IC es el carácter que más se relaciona con la diferencia de rendimiento entre cultivares, considerando que es un carácter crítico en la selección genotipos de alto rendimiento (Kiniry et al., citados por Jarma et al., 2010).

Los IC alcanzados por ambos cultivares se encuentran por encima del rango señalado por Fageira et al., citados por Sandoval et al. (2017), para cultivares comerciales, el cual varió entre 0,36 y 0,52. Por lo tanto, esta característica determina a ambos cultivares como de alto potencial de rendimiento, ya que producen altas cantidades de biomasa (>20000 Kg/ha) y más del 50% se tradujo en rendimiento. La densidad de siembra no presentó un efecto significativo sobre el IC. En este sentido las densidades utilizadas no permitieron que el IC alcanzara un nivel crítico, determinando una densidad óptima a partir de la cual el aumento en la densidad de siembra generara una disminución en el IC (Riveros y Rodríguez, 2010).

El efecto del nitrógeno sobre el IC fue significativo. No existió una respuesta positiva al aumento de la fertilización nitrogenada siendo en ambos casos N2 el que permitió alcanzar el máximo IC (Figuras No. 31 y No. 32). Sin embargo, los valores alcanzados tanto por los tratamientos nitrogenados como el sin N son altos, ya que se encuentran por encima del rango señalado como óptimo para cultivos comerciales (Fageira et al., citados por Sandoval et al., 2017). Esto no coincide con Sandoval et al. (2017) de que las variaciones en el índice de cosecha se ajustaron a un modelo cuadrático, en donde el máximo valor se obtuvo entre los 80 y 70 kg N/ha, ya que el mayor IC fue resultado de la fertilización con 55 Kg N/ha.

El efecto de los factores sobre la TCC dividida entre los estadios desde elongación a madurez fisiológica difirió entre cultivares. Para el cultivar SLI09197 la TCC estuvo determinada por la fertilización nitrogenada, excepto en el período 50% de floración - 20 días post. (Cuadro No. 36) en donde no hubo efecto significativo de los factores. Sin embargo, para INIA Merín en el período elongación - 50% de floración la TCC estuvo determinada por la interacción densidad * nitrógeno (Cuadro No. 33), mientras que en los estadios siguientes el efecto significativo fue del nitrógeno. El cultivar INIA Merín se caracteriza por presentar mayores TCC en llenado (50% floración-20 días post. 50% floración) que SLI09197 lo cual determina que INIA Merín sea más

eficiente fisiológicamente para la producción de biomasa, ya que presenta altas TCC en llenado de grano con valores de IAF inferiores a los de SLI09197. Aunque se incremente el IAF como ocurre en SLI09197, la eficiencia fotosintética disminuye porque aumenta el sombreadamiento y la respiración se incrementa. El IAF que corresponde a la máxima TCC se considera óptimo y debe tenerse en cuenta para establecer poblaciones óptimas (Jarma et al., 2010).

De acuerdo al análisis de clúster realizado se obtuvieron tres grupos significativamente diferentes en potencial de rendimiento, lo que permitió caracterizar y diferenciar los cultivares. Los rendimientos obtenidos en el clúster 1 y 2 son significativamente diferentes, pero ambos son de alta productividad, situándose entre 1 y 2 ton/ha por encima de la estimación de productividad para la zona local, la cual se predijo entre 10 y 11 ton/ha (Pérez de Vida, 2011b). Esto argumenta la alta productividad de ambos cultivares bajo diferentes combinaciones de los factores agronómicos (densidad de siembra y fertilización nitrogenada). De acuerdo a esto, ambos cultivares se diferencian en su capacidad para la formación de la canopia y rendimiento del cultivo.

Los rendimientos altos (clúster 1), se forman a partir de una estructura de canopia basada un desarrollo foliar con valores de IAF a 50% de floración entre 6 y 7 y un stand de 700 tallos/m² que permitieron lograr un alto No. de panojas/m². Para alcanzar estos valores de IAF es necesario obtener en etapa de elongación valores de IAF próximos a 4, ya que niveles inferiores llevaron a bajos IAF a 50% de floración (< 6), generando estructuras de canopia propias de los clúster de medio y bajo rendimiento (Cuadro No. 39). Por lo tanto, generando esta estructura de la canopia se logra alcanzar una producción de materia seca total a madurez fisiológica de 25576 Kg MS/ha, obteniendo una media de 13316 Kg/ha de rendimiento, un IC de 0,52. La altura de planta fue una variable informativa insignificativa en el rendimiento ya que no presentó diferencias entre clústeres, seguramente debido a que se ve influenciada por factores ambientales, pero es un rasgo controlado genéticamente (Fageira, 2007).

Este clúster de alto rendimiento está conformado mayoritariamente por el cultivar SLI09197, presentando 23 de los 27 casos que lo componen. Esto demuestra que este cultivar además de superar en rendimiento a INIA Merín (Figura No. 27), también presenta una mayor plasticidad y capacidad de compensación de la canopia que le permite alcanzar altos rendimientos bajo distintas combinaciones de los factores agronómicos. Por lo tanto, SLI09197 ubica el 38% de sus tratamientos en el clúster 1, ocurriendo lo contrario con INIA Merín el cual presentó 4 casos (Cuadro No. 40). Esto muestra su baja plasticidad frente a cambios en los factores agronómicos, siendo necesario para la obtención de altas productividades un manejo agronómico ajustado. De

acuerdo a esto es que el cultivar SLI09197 podría ser efectivo en el sector arrocero, ya que en condiciones de un manejo agronómico poco ajustado, su plasticidad le da la capacidad de alcanzar altos rendimientos en diferentes escenarios productivos. En condiciones económicas desfavorables la utilización de este tipo de cultivar aumentaría el margen económico con respecto a INIA Merín ya que según Pérez de Vida et al. (2017a) al analizar el rendimiento de varios años para las condiciones del Este del país, el rendimiento de ambos cultivares ha sido significativamente igual (zafras 2014-2015 a 2016-2017 de 11,36 y 10,65 t/ha SL, respectivamente).

Los casos de INIA Merín que pertenecen al clúster 1 son el resultado de la combinación de alta fertilización nitrogenada, y alta densidades de siembra ya que 3 de los 4 casos son de N4 y D3 y el restante de N3 y D4 (datos no mostrados). Por lo tanto, este cultivar logra formar una estructura de canopia óptima (IAF= 6 y 700 tallos/m²) para productividades mayores a 13000 Kg/ha a partir de alta fertilización nitrogenada y alta densidad de siembra debido a su bajo macollaje y menor IAF.

La plasticidad de SLI09197 para la obtención de altas productividades, disminuye la probabilidad de que este cultivar obtenga bajos rendimientos, ya que el 21% de sus casos se encuentran en el clúster de bajo rendimiento, sin embargo INIA Merín presenta el 38% de sus casos. Por lo tanto, SLI09197 se sitúa mayoritariamente en altas productividades, con niveles de fertilización nitrogenada correspondiente a N2, N3 y N4, por lo cual estos datos difieren con Marchesi (2017), en donde obtuvo que el mayor aumento de rendimiento (aprox. 9500 Kg/ha SL.) fue con la mayor dosis de N utilizada (113 Kg N/ha). En cuanto a INIA Merín, el 56% de los casos se posicionó en el clúster 2 a partir de varias combinaciones de densidad de siembra y fertilización nitrogenada.

De acuerdo a los modelos de formación del rendimiento las tres variables puestas en análisis (IAF a floración, TCC en llenado de grano e IC) tuvieron un efecto significativo sobre el rendimiento, aunque éste es distinto para cada cultivar (Figura No. 38).

En SLI09197 la variable que tuvo mayor impacto significativo en el rendimiento es el IAF a 50% de floración según su coeficiente path de 0,64^{***}, presentando una correlación significativa con el rendimiento (0,62^{***}). Esto se debe a la facilidad para generar área foliar, en donde la mayor expresión del rendimiento resulta de obtener un IAF a 50% floración entorno a 6 (Pérez de Vida y Ramírez, 2012), lo cual le confiere mayor plasticidad para obtener altas productividades. Por otra parte, el índice de cosecha de grano fue la siguiente variable de mayor impacto (0,56^{***}), lo cual determinó la diferencia en rendimiento entre ambos cultivares ya que ambos produjeron similar biomasa total a madurez fisiológica pero SLI09197 superó numéricamente en rendimiento a INIA Merín, generando un mayor IC. El efecto de la TCC en

llenado de grano fue significativa pero de menor índole, lo cual demuestra la menor eficiencia fisiológica del tipo de planta de SLI09197 con respecto a INIA Merín ya que presentó la capacidad de generar comparativamente mayores IAF y menores TCC en llenado.

La estructura de planta de INIA Merín estableció que la variable de mayor efecto significativo sobre el rendimiento fue el índice de cosecha de grano ($0,86^{***}$), en donde el rendimiento se puede aumentar por una mayor producción de materia seca total, o aumentando el índice de cosecha (Fageira, 2007). El menor rendimiento obtenido por este cultivar es consecuencia de haber logrado similar biomasa total que SLI09197, pero con un menor IC. En este sentido, la característica que más ha contribuido a aumentar el potencial de rendimiento de los cultivos de arroz es la capacidad de sus plantas de destinar al rendimiento una mayor proporción de la producción de materia seca total a madurez fisiológica; reduciendo la cantidad de fotoasimilados que debe invertir la planta en estructuras vegetativas (Jarma et al., 2010).

La TCC en llenado de grano presentó un efecto significativo en el rendimiento ($0,43^{***}$), el cual se ve disminuido por el mayor impacto que genera el IC. La correlación entre ambas variables es significativamente negativa, por lo que mayores TCC en llenado generan menores IC, causando disminuciones en el rendimiento. Sin embargo, esto no ocurre con el IAF a 50% de floración, en donde la correlación con el IC no es significativa, y además su efecto directo sobre el rendimiento es menor, lo que está definido por el tipo de planta y estructura de canopia que forma.

INIA Merín es más eficiente fisiológicamente con respecto a SLI09197, ya que las mayores TCC fueron obtenidas en el cultivar que presentó un menor IAF, lo cual indicó que fue más eficiente fotosintéticamente, cuando se comparó con otro cultivar de crecimiento más exuberante, de mayor IAF; lo cual está asociado a características propias del tipo de planta (Félix et al., 2012).

En base a la utilización de los componentes de rendimiento en ambos cultivares para establecer modelos que expliquen su formación, los resultados obtenidos determinaron un modelo significativo para SLI09197, mientras que para INIA Merín no fue posible, ya que el modelo no fue significativo.

Según el modelo establecido para SLI09197 el rendimiento de este cultivar se forma a partir del No. de panojas/m² ($0,37$) y el PMG ($-0,38$). El PMG impactó negativamente en el rendimiento, mientras que el No. de panojas/m² positivamente, lo cual se debe a la alta capacidad de macollamiento que presenta el cultivar. En este sentido, una parte importante del rendimiento es explicada por la variación en el No. de panojas, indicando la importancia del macollaje en la obtención de altos rendimientos por su efecto en la producción de panojas (Quezada et al., 2013).

El efecto del PMG coincide con los datos de Jaramillo et al. (2002), en donde la variable PMG presentó una correlación negativa con la variable rendimiento en Kg/ha. Esto se debe a la compensación fisiológica de la planta, ya que al aumentar el número de granos posiblemente su peso disminuya. Por otra parte, el PMG se vio afectado significativamente por la esterilidad de grano con una correlación de $-0,40^{**}$.

A su vez la correlación entre el No. de panojas/m² y el PMG no fue significativa, siendo ambas variables afectadas negativamente por el No. de granos/panoja y la esterilidad de grano. El No. de granos/panoja tiene una correlación negativa significativa sobre el No. de panojas/m² ($-0,28^*$), lo que no coincide con Jaramillo et al. (2002) que determinaron al No. de granos/panoja como la variable de mayor importancia para la concreción del rendimiento. De esta manera, aumentos en el No. de granos/panoja serían en deterioro del No. de panojas/m², es por esto que SLI09197 presenta significativamente menor No. de granos por panoja que INIA Merín.

Para el caso de INIA Merín al plantear un modelo igual al de la Figura No. 39, la variable que significativamente tuvo efecto sobre el rendimiento fue el % de esterilidad ($P <,0001$). Este se correlaciona lineal y positivamente con el rendimiento, lo que no coincide con Yoshida, citado por Jaramillo et al. (2002) ya que generalmente la esterilidad de grano disminuye considerablemente los rendimientos en zona templada, debido a un desorden fisiológico influenciado por factores climáticos como radiación solar incidente y temperatura. El rango de valores abarca niveles de esterilidad que van de 4 a 12% para rendimientos promedio de 6000 a 15000 Kg/ha respectivamente. Estos niveles de esterilidad se encuentran dentro del rango aceptable ya que Garcés y Restrepo (2015) señalan como un alto porcentaje de espiguillas estériles a valores mayores a 20% para un rendimiento promedio de 7000 Kg/ha. Al aumentar las productividades se denota un mayor % de espiguillas estériles, con una posible tendencia de los materiales a ser más susceptibles a la esterilidad de grano al recibir dosis altas de nitrógeno (Jaramillo et al., 2002).

6. CONCLUSIONES

El índice de área foliar a 50% de floración es una de las variables que determina la formación del rendimiento, en donde valores entre 6 y 7 serían óptimos para alcanzar altas productividades (13316 Kg/ha promedio) en ambos cultivares, siendo en esta etapa en la cual se alcanzó su máximo valor.

Ambos cultivares son de alta productividad, alcanzando rendimientos máximos de 14937 y 14808 Kg/ha a 13% de humedad para SLI09197 e INIA Merín respectivamente. El cultivar SLI09197 presentó mayor estabilidad en la concreción del rendimiento como consecuencia de una mayor plasticidad frente al cambio en los factores agronómicos (densidad de siembra y fertilización nitrogenada), dada su alta capacidad de macollaje y su facilidad para alcanzar altos valores de IAF a 50% de floración.

La plasticidad para concretar rendimiento en SLI09197 permite que su manejo agronómico varíe, ya que bajo múltiples combinaciones de los factores agronómicos este cultivar logra alcanzar altas productividades (rendimiento promedio clúster 1 13750 Kg/ha SL).

El manejo agronómico para el cultivar INIA Merín debe ser muy ajustado, disminuyendo la probabilidad de bajos rendimientos con el uso de altas densidades de siembra y fertilización nitrogenada, logrando rendimientos que van desde 11427 a 14808 Kg/ha SL (clúster 1).

Las variables que mayor impacto tienen en la formación del rendimiento para SLI09197 son el IAF a 50% de floración (0,64^{***}) y el IC (0,56^{***}), mientras que para INIA Merín el mayor impacto estuvo dado por el IC (0,86^{***}) seguido de la TCC (0,43^{***}).

El rendimiento para SLI09197 se forma a partir del No. de panojas/m² (0,37^{**}) y el PMG (-0,38^{**}), mientras que para INIA Merín no fue posible establecer un modelo que explicara su formación.

7. RESUMEN

En la estación experimental del Este (INIA Treinta y Tres), precisamente en la Unidad de Paso de la Laguna, para la zafra 2016-2017 se instaló un experimento que se basó en el estudio de dos cultivares de arroz: INIA Merín y SLI09197, ambos de biotipo índica, caracterizados por su alta productividad, un similar ciclo a floración y cosecha. Se utilizaron cuatro niveles de densidad de siembra y fertilización nitrogenada (0, 55, 75 y 112 Kg N/ha) realizándose muestreos destructivos y determinaciones en las distintas etapas fenológicas del ciclo del cultivo: implantación, macollaje, primordio, 50% floración, llenado de grano intermedio y madurez fisiológica. El diseño experimental del ensayo se basó en parcelas divididas en bloques completos al azar (DBCA). Este consistió de cuatro bloques, con cuatro parcelas grandes correspondientes a los cuatro niveles de N, y a su vez dentro de cada una de estas se aleatorizaron otras cuatro parcelas correspondientes a cada densidad de siembra. Por lo tanto, el ensayo consta de 16 tratamientos y 64 unidades experimentales para cada cultivar. Las determinaciones y registros que se realizaron para cada estadio fenológico fueron: No. de tallos/m², MS total, MS lámina, MS vaina, MS tallos, MS panojas, altura de planta, IAF, rendimiento y sus componentes a fin de ciclo. Ambos cultivares obtuvieron la misma producción de materia seca total, existiendo diferencias en el período emprendido de elongación a llenado de granos temprano, en donde hay una superioridad del cultivar SLI09197 con respecto a INIA Merín, lo que se debe a un mayor desarrollo foliar del cultivar SLI09197 en esta etapa, traduciéndose en un mayor IAF a floración, el cual para el promedio de los tratamientos alcanzó niveles entre 5-6. El IAF máximo se alcanzó a 50% de floración, disminuyendo a medida que el cultivo se fue desarrollando, como consecuencia de la senescencia y caída de hojas. El aumento en las densidades de siembra no tuvo efecto sobre la biomasa total producida ni en el IAF a 50% de floración, y a su vez generó un aumento en el No. de tallos logrados/m² en SLI09197 no siendo así para INIA Merín, en donde el aumento en la densidad de siembra no logró generar un cambio en el No. de tallos logrados/m². De acuerdo a la fertilización nitrogenada, el aumento en el nivel de N provocó un aumento en la producción de biomasa y del IAF a 50% de floración. En cuanto al rendimiento del cultivo, este se vio afectado por efectos de la fertilización nitrogenada, en donde el cultivar SLI09197 superó a INIA Merín, y el rendimiento fue mayor a medida que se aumentó el nivel de N. SLI09197 presentó una mayor plasticidad frente al cambio en los factores agronómicos, lo que le permitió alcanzar con mayor frecuencia (38%) altos rendimientos, principalmente debido a la capacidad de compensar densidades bajas por medio de su alto macollaje. Dicho cultivar demostró según los coeficientes path formar su rendimiento a partir del IAF a 50% de floración (0,64^{***}) y el IC (0,56^{***}), mientras que INIA Merín lo hizo a partir del IC (0,86^{***}) y la TCC (0,43^{***}).

Palabras clave: Potencial de rendimiento; Índice de área foliar (IAF); Biomasa; Índice de cosecha (IC); *Oryza sativa* L.; Ecofisiología del cultivo.

8. SUMMARY

In the Estación Experimental del Este (INIA Treinta y Tres), precisely in the Unidad Experimental Paso de la Laguna, for the 2016-2017 harvest an experiment was installed that was based on the study of two rice cultivars: INIA Merín and SLI09197, both of biotype Indica, characterized by its high productivity, a similar cycle to flowering and harvest. Four levels of planting density were used and nitrogen fertilization (0, 55, 75 and 112 Kg N/ha) with destructive samplings and determinations in the different phenological stages of the crop cycle: implantation, tillering, primordium, 50% flowering, intermediate grain filling and physiological maturity. The experimental design of the trial was based on plots divided into randomized complete blocks (DBCA). This consisted of four blocks, with four large plots corresponding to the four levels of N, and at the same time each of these four other plots were randomized corresponding to each density of sowing. Therefore the trial consists of 16 treatments and 64 experimental units for each variety. The determinations and records made for each phenological stage were: No. of stems /m², total dry matter, sheath dry matter, sheath dry matter, stems dry matter, panicles dry matter, plant height, Leaf area index, yield and its components at the end of the cycle. Both varieties obtained the same production of total dry matter, there were differences in the period of elongation to early fill grain, where there is a superiority of the variety SLI09197 with respect to INIA Merín, which is due to greater leaf development of the variety SLI09197 in this stage, translating into a higher Leaf area index to flowering, which for the average of the treatments reached levels between 5-6. The maximum Leaf area index was reached at 50% flowering, decreasing as the crop developed, as a consequence of senescence and leaf fall. The increase in planting densities had no effect on the total biomass produced or in the IAF at 50% flowering, and in turn generated an increase in the number of stems achieved / m² in SLI09197, not being so for INIA Merín, in where the increase in planting density failed to generate a change in the number of stems achieved / m². According to the nitrogen fertilization, the increase in the level of N caused an increase in the production of biomass and the IAF to 50% of flowering. Regarding crop yield, this was affected by effects of nitrogen fertilization, where the cultivar SLI09197 exceeded INIA Merín, and the yield was higher as the level of N was increased. SLI09197 presented a greater plasticity against the change in agronomic factors, which allowed to reach with higher frequency (38%) high yields, mainly due to the ability to compensate low densities by means of its high tillering. SLI09197 variety showed, according to the path coefficients, to form its yield from the LAI at 50% flowering (0.64 ***) and harvest index (0.56 ***), while INIA Merín did it from harvest index (0.86 ***) and crop growth rate (0.43 ***)).

Keywords: Yield potential; Leaf area index (LAI); Biomass; Harvest index (HI); *Oryza sativa* L.; Crop ecophysiology.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Acevedo, M. A.; Salazar, M.; Castrillo Fuentes, W. A.; Torres, O. J.; Reyes, E. R.; Navas, M.; Álvarez, R. M.; Moreno, O. J.; Torres, E. 2011. Efectos de la densidad de siembra y fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de granos de arroz del cultivar Centauro en Venezuela. *Agronomía Tropical*. 61(3): 15-26.
2. Baksh, I.; Hussain, I.; Sabir, A. A. 2017. Compatible influence of np fertilizers and indole acetic acid with different doses on coarse rice (*Oryza sativa* L.). *Gomal University Journal of Research*. 33(2): 68-77.
3. Carracelas, G.; Guilpart, N.; Grassini, P.; Cassman, K. 2017. Evolución del rendimiento del arroz producido en Uruguay y comparación con otros países arroceros. *In*: Zorrilla, G.; Martínez, S.; Saravia, H. eds. *Arroz 2017*. Montevideo, INIA. pp. 51-55 (Serie Técnica no. 233).
4. Castillo, A.; Rodríguez, S.; Castillo, A. M.; Peña, R. 2011. Rendimiento y sus componentes de la cultivar de arroz IIAC-20 con relación a la fertilización nitrogenada y densidad de población en primavera. (en línea). *Centro Agrícola*. 38(3): 17-22. Consultado 3 jul. 2018. Disponible en http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V38Numero_3/cag043111700.pdf
5. Castillo, J.; Terra, J.; Ferreira, A.; Méndez, R. 2014. Fertilización N en arroz en base a indicadores objetivos: ¿qué sabemos luego de 3 años de experimentación?. *In*: *Arroz-soja: resultados experimentales 2013-2014*. Montevideo, Uruguay, INIA. cap. 3, pp. 4-7 (Actividades de Difusión no. 735).
6. _____; Vaz, P.; Terra, J. A. 2015. Fertiliz-Arr: herramienta de ayuda para la toma de decisiones en la fertilización del cultivo de arroz. *In*: *Arroz-soja: resultados experimentales 2014-2015*. Montevideo, Uruguay, INIA. cap. 2, pp. 1-3 (Actividades de Difusión no. 748).
7. Charry, R. E.; Pérez, D. J.; Cabrales, E. M.; Degiovanni, V. 2016. Parámetros de crecimiento de nuevos genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.) en tres ambientes de Córdoba. *Temas Agrarios*. 21(1): 18-27.

8. Chaudhary, R. C.; Nanda, J. S.; Tran, D. V. 2003. Guía para identificar las limitaciones de campo en la producción de arroz. Roma, FAO. 73 p.
9. Díaz, S.; Cristo, E.; Morejón, R.; Castro, R.; Shiraishi, M. D.; Madduma, P. D.; Keisuke, A. 2013. Analysis of the productive structure and yield behavior of four rice varieties (*Oryza sativa* L.) from different origins in Ibaraki prefecture, Japan. (en línea). Cultivos Tropicales. 34(1): 42-50. Consultado 3 jul. 2018. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362013000100007&lng=en&tlng=en
10. Fageira, N. K. 2007. Yield Physiology of Rice. Journal of Plant Nutrition. 30: 843-879.
11. Félix Álvarez, R. de C.; Costa Crusciol, C. A.; Stephan Nascente, A. 2012. Análise de crescimento e produtividade de cultivares de arroz de terras altas dos tipos tradicional, intermediário e moderno. (en línea). Pesquisa Agropecuaria Tropical. 42(4): 397-406. Consultado 28 jun. 2018. Disponible en http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-40632012000400008&lng=en&tlng=en
12. Garcés Varón, G.; Restrepo, D. H. 2015. Growth and yield of rice cultivars sowed on different dates under tropical conditions. (en línea). Ciencia e Investigación Agraria. 42(2): 28-31. Consultado 2 jul. 2018. Disponible en http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-16202015000200008&lng=en&tlng=en
13. Hirzel, J.; Pedreros, A.; Cordero, K. 2011. Effect of Nitrogen Rates and Split Nitrogen Fertilization on Grain Yield and its Components in Flooded Rice. (en línea). Chilean Journal of Agricultural Research. 71(3): 437-444. Consultado 6 jul. 2018. Disponible en <https://doaj.org/article/4ed3c380aa0d4e7d9e8b40e1f0f02023>
14. Jaramillo, S.; Pulver, E.; Duque, M. C. 2002. Efecto del manejo de la fertilización nitrogenada en arroz de riego, sobre la expresión del potencial de rendimiento de líneas elite y cultivares comerciales. Cali, Colombia, FLAR/Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 12 p.
15. Jarma, A. de J.; Degiovanni, B. V.; Montoya, R. A. 2010. Índices fisiotécnicos, fases de crecimiento y etapas de desarrollo de la planta de arroz. In: Degiovanni, B. V.; Martínez, R.; César, P.;

Motta, O. F. eds. Producción ecoeficiente del arroz en América Latina. Cali, CIAT. pp. 60-83 (Serie Técnica no. 365).

16. Jiménez, O.; Silva, R.; Cruz, J. 2009. Effect of planting densities on the yield of rice (*Oryza sativa* L.) in the Santa Rosalia Municipality, Portuguesa State, Venezuela. *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología*. 27: 32-41.
17. Kato, M.; Yokoo, M.; Maruyama, S. 2006. Dry-Matter Partitioning and Accumulation of Carbon and Nitrogen during Ripening in a FemaleSterile Line of Rice. (en línea). *Production Science*. 9(3):185-190. Consultado 8 jul.2018. Disponible en <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1626/pps.9.185>
18. Maqueira, L. A.; Torres, W.; Díaz, G.; Torres, K. 2007. Efecto del sistema intensivo del cultivo arrocero (SICA) sobre algunas variables del crecimiento y el rendimiento en una variedad de ciclo corto. *Cultivos Tropicales*. 28(2): 59-61.
19. _____; Miranda, A.; Torres, W. 2009. Crecimiento y rendimiento de dos cultivares de arroz de ciclo corto en época poco lluviosa. (en línea). *Cultivos Tropicales*. 30(3): 28-31. Consultado 2 jul. 2018. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362009000300003&lng=en&tlng=en
20. _____; Pérez, S.; Torres, W. 2010. Crecimiento y productividad de cultivares de arroz de diferentes ciclos en dos fechas de siembra en la época de frío en los palacios, Pinar del Río. (en línea). *Cultivos Tropicales*. 31(4): 87-92. Consultado 30 jun. 2018. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362010000400011&lng=en&tlng=en
21. _____; Torres de la Noval, W.; Pérez Mesa, S.; Morejón, R. 2015. Acumulación de masa seca en los diferentes órganos de la planta de arroz (*Oryza sativa* L.) y su relación con el llenado de los granos en la época poco lluviosa. (en línea). *Cultivos Tropicales*. 36(2): 49-55. Consultado 29 jun. 2018. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362015000200007&lng=en&tlng=en
22. Marchesi, C. 2017. Optimización de niveles de densidad de siembra y fertilización nitrogenada para distintos cultivares de INIA, zona Norte. In: Zorrilla, G.; Martínez, S.; Saravia, H. eds. *Arroz 2017*. Montevideo, INIA. pp. 39-42 (Serie Técnica no. 233).

23. MGAP. DSF (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección Nacional de Suelos, Aguas y Fertilizantes, UY). 2001. Carta de suelos del Uruguay. Montevideo, Uruguay. Esc 1: 1.000.000. Color.
24. Olmos, S. 2006. Apunte de morfología, fenología, ecofisiología, y mejoramiento genético del arroz. Corrientes, Argentina, UNNE. Facultad de Ciencias Agrarias. 13 p.
25. Pérez de Vida, F. 2010. Aspectos de la ecofisiología del cultivo de arroz en Uruguay II: importancia de la fecha de siembra en la productividad. In: Arroz: resultados experimentales 2009-2010. Montevideo, Uruguay, INIA. cap. 8, pp. 8-12 (Actividades de Difusión no. 611).
26. _____; Molina, F. 2011a. Exploración del potencial de rendimiento. In: Arroz: resultados experimentales 2010-2011. Montevideo, Uruguay, INIA. cap. 7, pp.9-14 (Actividades de Difusión no. 651).
27. _____.2011b. Potencial de rendimiento de arroz: aspectos de la ecofisiología del cultivo de arroz en Uruguay: potencial biológico de la región Este. In: Arroz: resultados experimentales 2010-2011. Montevideo, Uruguay, INIA. cap. 7, pp. 1-4 (Actividades de Difusión no. 651).
28. _____.; Ramírez, D. 2012. Construcción del rendimiento en cultivares de alto potencial (cultivares e híbridos) según densidad de siembra y fertilización nitrogenada. In: Arroz: resultados experimentales 2011-2012. Montevideo, Uruguay, INIA. cap. 7, pp.1-8 (Actividades de Difusión no. 686).
29. _____.; Carracelas, G.; Vargas, J. 2017a. Cultivares promisorios de alta productividad y resistencia a Pyricularia: SLI09197 y SLI14000. In: Zorrilla, G.; Martínez, S.; Saravia, H. eds. Arroz 2017. Montevideo, INIA. pp. 5-7 (Serie Técnica no. 233).
30. _____.; Blanco, P. H.; Molina, F. 2017b. INIA Merín: nuevo cultivar de arroz de alta productividad y resistencia a Pyricularia. Arroz. 17 (90): 46-52.
31. Pittelkow, C. M.; Zorrilla, G.; Terra, J.; Ricetto, S.; Macedo, I.; Bonilla, C.; Roel, A. 2016. Sustainability of rice intensification in Uruguay from 1993 to 2013. Global Food Security. 9: 10-18.
32. Quezada, C.; Hernaíz, S.; Vidal, I.; Doering, K. 2013. Performance of rice genotypes (*Oryza sativa* L.) under low nitrogen conditions. (en línea). Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences. 28(2):

129-137. Consultado 5 jul. 2018. Disponible en http://www.agrociencia.cl/images/revistas/2013/AC_29-2_p129-137.pdf

33. Riveros, G.; Rodríguez, N. S. 2010. La fisiología de la planta y la productividad del cultivo. In: Degiovanni, B. V.; Martínez, R.; César, P.; Motta, O. F. eds. Producción ecoeficiente del arroz en América Latina. Cali, CIAT. pp. 100-117 (Serie Técnica no. 365).
34. Rodríguez, H. A.; Arteaga, L.; Cardona, R.; Ramón, M.; Alemán, L. 2002. Respuesta de las cultivares de arroz FONAIAP 1 y Cimarrón a dos densidades de siembra y dos dosis de nitrógeno. *Bioagro*. 14(2): 105-112.
35. Sandoval, H. A.; Ribeiro Barzan, R.; Sandoval, C. M.; Rodríguez Brito, O. 2017. Growth, yield and agronomic efficiency of rice (*Oryza sativa* L.) cv. IAPAR 117 affected by nitrogen rates and sources. (en línea). *Acta Agronómica*. 66(4): 558-565. Consultado 6 jul. 2018. Disponible en <https://doaj.org/article/263db7dd14094a4f8e5d7a4c04991f6c>
36. Santos, A. B.; Stone, L. F.; Heinemann, A. B.; Santos, T. P. 2017. Índices fisiológicos do arroz irrigado afetados pela inundação e fertilização nitrogenada. (en línea). *Revista Ceres*. 64(2): 122-131. Consultado 28 jun. 2018. Disponible en http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-737X2017000200122&lng=en&tlng=en
37. Tang, S. X.; Wei, X. H.; Y., Z.; Brar, D. S.; Cruz, G.S. 2007. Genetic Diversity Based on Allozyme Alleles of Chinese Cultivated Rice. (en línea). *Agricultural Sciences in China*. 6(6): 641-646. Consultado 7 jul. 2018. Disponible en [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(07\)60094-7](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(07)60094-7)
38. Tofiño, A.; Romero, H. M.; Ceballos, H. 2007. Efecto del estrés abiótico sobre la síntesis y degradación de almidón. (en línea). *Agronomía Colombiana*. 25(2): 245-254. Consultado 7 jul. 2018. Disponible en <https://doaj.org/article/53e5f69a067d4e26a5a6dcbb70bf5899>
39. Villalba, J. V.; Jarma, A. J.; Combatt, E. M. 2017. Respuesta fisiológica de cultivares de arroz a diferentes épocas de siembra en Córdoba, Colombia. *Temas Agrarios*. 22(2): 11-22.