

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RESPUESTA A NITROGENO DEL CULTIVAR INIA OLIMAR SEGÚN  
TIPO DE RIEGO Y SISTEMATIZACION

por

Ana Laura GABRIELLI DE LOS SANTOS  
Federico Gabriel PINTOS BAPTISTA

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

MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2013

Tesis aprobada por:

Director:

---

Ing. Agr. Claudia Marchesi

---

Ing. Agr. Gonzalo Carracelas

---

Ing. Agr. Esteban Hoffman Berasain

---

Ing. Agr. Guillermo Siri Prieto

Fecha: 28 de junio de 2013

Autor:

---

Ana Laura Gabrielli de los Santos

---

Federico Gabriel Pintos Baptista

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a todos aquellos que de una forma colaboraron en la concreción de este trabajo de tesis.

Especialmente a:

Familiares y amigos, por su apoyo y aliento de manera totalmente desinteresada.

A los Ings. Agrs. Claudia Marchesi y Gonzalo Carracelas, investigadores del programa arroz INIA Tacuarembó, directores de la tesis, por su apoyo y colaboración a lo largo de todo el periodo de elaboración del trabajo.

A la Ing. Agr. Mónica Cadenazzi, profesora de la cátedra de estadística de la Facultad de Agronomía, Universidad de la República, por su colaboración y sugerencias en el análisis estadístico de los datos.

Al Ing. Agr. Bernardo Böcking, por sus sugerencias y colaboración con materiales fundamentales para la revisión bibliográfica del trabajo.

Al Ing. Agr. Jesús Castillo, investigador del programa producción de arroz INIA Treinta y tres, por su atención y contestación de las consultas que le fueron realizadas.

A Mario Acuña, Santiago Hernandez, Fernando Manzi, Alvaro Piñeiro y Elvis Viera, funcionarios del programa arroz, INIA Tacuarembó, sin los cuales no hubiese sido posible la realización de los ensayos.

## 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> .....	3
2.1 CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVAR INIA OLIMAR.....	3
2.2 NUTRICIÓN NITROGENADA DE LA PLANTA DE ARROZ.....	3
2.2.1 <u>Requerimientos de nitrógeno del cultivo de arroz</u> .....	4
2.2.2 <u>Absorción de nitrógeno</u> .....	5
2.2.3 <u>Fuentes de nitrógeno</u> .....	6
2.2.4 <u>Dinámica del nitrógeno en suelos inundados</u> .....	7
2.2.4.1 <u>Procesos más importantes de pérdida de nitrógeno</u> .....	9
2.2.5 <u>Manejo del agua y aplicación de nitrógeno</u> .....	11
2.2.6 <u>Momento de aplicación</u> .....	11
2.2.7 <u>Factores que condicionan la respuesta a nitrógeno</u> .....	13
2.2.8 <u>Efecto del N sobre los componentes del rendimiento y materia seca de parte aérea</u> .....	14
2.3 REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DEL CULTIVO DE ARROZ Y SISTEMAS DE RIEGO.....	15
2.3.1 <u>Efectos de la sequía en la planta de arroz</u> .....	16
2.3.2 <u>Manejo del agua de riego</u> .....	17
2.3.3 <u>Sistemas de riego</u> .....	18
2.3.4 <u>Volúmenes de agua utilizados para el cultivo de arroz</u> .....	19
2.3.5 <u>Productividad del agua en arroz</u> .....	21
2.4 INTERACCIÓN ENTRE SISTEMA DE RIEGO Y RESPUESTA A LA APLICACIÓN DE FERTILIZANTE NITROGENADO.....	22
2.5 FUNCIÓN DE LAS TAIPAS EN LA SISTEMATIZACIÓN DE LA CHACRA.....	23
2.5.1 <u>Sistematización múltiple taipa</u> .....	23
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	25
3.1 AREA DE ESTUDIO.....	25
3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	25
3.2.1 <u>Modelo estadístico</u> .....	26
3.2.2 <u>Hipótesis</u> .....	26
3.3 MANEJO DEL CULTIVO.....	27
3.3.1 <u>Siembra</u> .....	27

3.3.1.1 Ensayos Cinco Sauces (Tacuarembó).....	27
3.3.1.2 Ensayos Paso Farias (Artigas).....	27
3.3.2 <u>Sistematización</u> .....	28
3.3.3 <u>Fertilización nitrogenada</u> .....	28
3.3.4 <u>Manejo del riego</u> .....	30
3.4 DETERMINACIONES.....	30
3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	31
3.6 REGISTRO CLIMÁTICO.....	31
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> .....	33
4.1 CONDICIONES CLIMATICAS ZAFRA 2011/12 .....	33
4.1.1 <u>Temperaturas</u> .....	33
4.1.2 <u>Heliofanía</u> .....	36
4.1.3 <u>Precipitaciones</u> .....	38
4.2 RESPUESTA EN RENDIMIENTO .....	40
4.2.1 <u>Respuesta a las tecnologías de fertilización en los ensayos bajo riego intermitente</u> .....	41
4.2.2 <u>Respuesta a las tecnologías de fertilización en los ensayos bajo riego continuo</u> .....	44
4.2.3 <u>Eficiencia de uso del nitrógeno</u> .....	47
4.2.4 <u>Estudio de la conveniencia de fertilizar con nitrógeno en etapas posteriores a la siembra, según tipo de riego y sistematización de chacra</u> .....	48
4.3 RESPUESTA DE LAS VARIABLES ASOCIADAS AL RENDIMIENTOS A LAS TECNOLOGÍAS DE FERTILIZACIÓN EVALUADAS.....	49
4.3.1 <u>Componentes del rendimiento</u> .....	49
4.3.2 <u>Producción de materia seca</u> .....	54
4.3.2.1 <u>Materia seca en etapa vegetativa</u> .....	54
4.3.2.2 <u>Materia seca a fin de ciclo</u> .....	57
4.3.3 <u>Contenido de nitrógeno en planta</u> .....	60
4.3.3.1 <u>SPAD en etapa vegetativa</u> .....	60
4.3.3.2 <u>SPAD en etapa reproductiva</u> .....	63
4.4 CORRELACIONES.....	64
4.5 EVOLUCIÓN DE LA FLORACIÓN.....	66
5. <u>CONCLUSIONES</u> .....	69
6. <u>RESUMEN</u> .....	70
7. <u>SUMMARY</u> .....	72

8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	73
9. <u>ANEXOS</u> .....	78

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1 Análisis de suelo Cinco Sauces (Tacuarembó).....	27
2 Análisis de suelo Paso Farias (Artigas).....	27
3 Dosis de nitrógeno agregado según tratamiento (Cinco Sauces, Tacuarembó).....	29
4 Dosis de nitrógeno agregado según tratamiento (Paso Farias, Artigas)..	29
5 Resumen estadístico ensayos bajo riego intermitente.....	41
6 Rendimiento según tratamiento de fertilización nitrogenada de los ensayos con riego intermitente.....	42
7 Resumen estadístico de los ensayos bajo riego continuo.....	44
8 Rendimiento según tratamiento de fertilización nitrogenada de los ensayos con riego continuo.....	45
9 Eficiencia de uso del nitrógeno y rendimiento potencial según ensayo..	47
10 Contrastes ortogonales entre tratamientos con y sin agregado de nitrógeno en etapas posteriores a la siembra.....	48
11 Resumen del análisis estadístico de los componentes de rendimiento panojas/m y granos/panoja.....	49
12 Resumen del análisis estadístico de producción de materia seca de planta en etapa vegetativa según ensayo.....	54
13 Producción de materia seca en estado vegetativo, ensayos con riego Continuo.....	55
14 Producción de materia seca en estado vegetativo, ensayos con riego Intermitente.....	55

15	Resumen del análisis estadístico de producción de materia seca de planta en etapa reproductiva según ensayo.....	57
16	Resumen del análisis estadístico del contenido de nitrógeno en planta (medido con SPAD)en macollaje .....	60
17	SPAD en estado vegetativo, ensayos con riego continuo.....	60
18	SPAD en estado vegetativo, ensayos con riego intermitente.....	61
19	Resumen del análisis estadístico del contenido de nitrógeno en planta en etapa reproductiva.....	63
20	Correlaciones entre variables en ensayos con riego intermitente.....	65
21	Correlaciones entre variables en ensayos con riego continuo.....	65

Figura No.

1.	Temperatura máxima, media y mínima para la zafra 2011/12 en comparación con la serie histórica 1985-2010. Tacuarembó (Fuente: Estación meteorológica INIA Tacuarembó).....	34
2.	Temperatura máxima, media y mínima para la zafra 2011/12 en comparación con la serie histórica 1985-2010. Bella Union.....	34
3.	Temperaturas máxima, media y mínima 20 días pre y post floración, zafra 2011/12. Tacuarembó .....	35
4.	Temperaturas máxima, media y mínima 12 días pre y post floración, zafra 2011/12, Bella Unión .....	35
5.	Heliofanía acumulada por décadas en horas luz según estado fenológico del cultivo, para los ensayos ubicados en Cinco Sauces, Tacuarembó .....	37



6. Heliofanía acumulada por décadas en horas luz según estado fenológico del cultivo, para los ensayos ubicados en Paso Farias, Artigas.....	37
7. Precipitaciones acumuladas mensuales para la zafra 2011/12 en comparación con la media histórica. Tacuarembó.....	38
8. Precipitaciones acumuladas mensuales para la zafra 2011/12 en comparación con la media histórica. Bella Union, Artigas.....	39
9. Rendimiento promedio en grano seco y limpio según ensayo.....	40
10. Rendimiento en grano según tratamiento, de los ensayos con riego intermitente.....	42
11. Rendimiento en grano según tratamiento de los ensayos con riego Continuo.....	45
12. Componentes de rendimiento (promedio) según ensayo.....	51
13. Panojas por metro, según tratamiento para cada ensayo.....	52
14. Granos por panoja según tratamiento para cada ensayo.....	53
15. Producción de materia seca hasta macollaje .....	56
16. Materia seca de planta a cosecha según tecnología de fertilización para Cada experimento.....	58
17. Medición de SPAD en macollaje.....	62
18. Medición de SPAD en reproductivo, ensayo ubicado en Paso Farias con riego continuo e intervalo vertical de 8 cm entre taipas.....	64

19. Evolución de la floración según sistema de riego en los ensayos de Paso Farias (promedio de todos los tratamientos de nitrógeno).....	62
20. Evolución de la floración según sistema de riego en los ensayos de Cinco Sauces(promedio de todos los tratamientos de nitrógeno).....	62

## 1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de arroz en el Uruguay se caracteriza por presentar alto dinamismo y tecnificación, y la estrecha integración vertical del rubro establece una fuerte interacción entre el agro, la industria y la investigación, sustentando un constante proceso de innovación. Esto permite la obtención de rendimientos equiparables con los de las zonas arroceras más productivas del mundo, y el cumplimiento de los estándares de calidad exigidos por el mercado. Estas características ubican el rubro arrocero dentro de los más importantes económicamente a nivel del país.

Históricamente el cultivo se ha desarrollado en la zona Este del país, debido principalmente a las características edáficas, topográficas y a la disponibilidad de agua. Pero en los últimos 20 años el cultivo se ha expandido desde la zona Este hacia el Norte y Centro del país.

En la zafra 2011-2012 se sembró una superficie total de 181 mil hectáreas, de las cuales el 71 % se ubicó en zona Este del país, el 19,6 % en zona Norte y litoral Oeste y el 8,7 % en el Centro. La producción total fue de 1424 mil toneladas, constituyendo un promedio de 7850 kg/ha a nivel país. En la zona Norte se alcanzaron los mayores rendimientos, con un promedio de 8635 kg /ha, el promedio por zona más bajo fue el alcanzado en el Este, con 7557 kg/ha (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2012).

El arroz es el cultivo extensivo que presenta la mayor inversión de capital por hectárea. Los altos costos operativos del cultivo (insumos y mano de obra) y las inversiones en infraestructura y maquinaria, constituyen una de las principales limitantes del rubro. El estancamiento del precio del producto, hace que el margen neto del cultivo sea cada vez más estrecho y sea necesario invertir esfuerzos en la búsqueda de un uso más eficiente de los recursos y en el logro altos rendimientos.

Las zonas Norte y Centro cuentan con las condiciones agroclimáticas más favorables para el desarrollo del cultivo de arroz, por contar con mayor radiación solar y menor probabilidad de ocurrencia de temperaturas bajas durante el período crítico, respecto al resto del país.

Las características edáficas y topográficas de las zonas Centro y Norte, y la escasez de fuentes de agua, constituyen una limitante para la expansión del cultivo, por lo cual la búsqueda de tecnologías que se ajusten a los sistemas desarrollados en estas zonas y contrarresten dichos obstáculos, se tornan fundamentales.

Hace algunos años se viene trabajando a nivel de investigación y producción en la implementación de sistemas de riego intermitente, cuyo fundamento es mejorar la eficiencia del uso del agua.

Por otro lado la reducción en el intervalo vertical entre taipas, en la sistematización de la chacra (sistematización múltiple taipa) es una tecnología relativamente nueva en el país, que se generó en Brasil y que ha comenzado a implementarse a nivel nacional. Sus argumentos se basan en mayor velocidad y uniformidad en la distribución del agua en el cultivo, sin embargo existe escasa información sobre su impacto real.

La fertilización nitrogenada es una práctica que se realiza basándose más en la experiencia del productor e historia de chacra que en criterios objetivos. Se implementan diferentes tecnologías que combinan dosis y fraccionamientos de las mismas en diferentes etapas fenológicas del cultivo, sin conocer los niveles reales de respuesta.

La evaluación del comportamiento de las tecnologías de fertilización nitrogenada mayoritariamente utilizadas en las zonas Centro y Norte, frente a diferentes sistemas de riego y tipos de sistematización de chacra, constituye una herramienta fundamental para optimizar el uso de insumos y contribuir con la disminución de costos, mejorando las condiciones de producción y fomentando la expansión del rubro en las zonas con mayor potencial a nivel país.

El objetivo del siguiente trabajo es evaluar el comportamiento de las tecnologías de fertilización mayoritariamente utilizadas a nivel de producción en la zona Norte y Centro del país frente a sistemas que combinan diferentes tipos de riego (continuo e intermitente hasta primordio floral) y sistematización de chacra (variación en el intervalo vertical entre taipas).

La hipótesis de base es que existe una respuesta diferencial del cultivo a la forma de fertilización nitrogenada dependiendo de la combinación de factores tipo de riego y sistematización de chacra.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVAR INIA OLIMAR

El cultivar INIA Olimar fue generado en INIA Treinta y Tres en el año 1991. Ingresó en evaluación preliminar en 1997/98 y la purificación y multiplicación de semillas se inició en la zafra 1999/00.

Blanco et al. (2004), caracterizaron el cultivar INIA Olimar destacando:

- El tipo de planta es similar a El Paso 144 (variedad indica mayoritariamente utilizada en Uruguay), con una altura levemente inferior (85cm INIA Olimar, respecto a 90cm El Paso 144) y hojas pilosas erectas. Presenta buen vigor inicial, determinando un buen establecimiento de cultivo, tanto en siembras convencionales como en siembra directa.
- Presenta abundante macollaje y un tamaño moderado de panoja (553 panojas/m<sup>2</sup>, con 82 granos totales). Su ciclo de siembra a floración es de 98 días.
- La calidad de grano, presenta un peso de mil granos de 26,8g, bajo porcentaje de yesado (4,1%), inferior a El Paso 144, diferencias que se acentúan en la zona Norte. La calidad culinaria es típica de los materiales tropicales, con contenido de amilosa intermedio-alto (27,4%) y temperatura de gelatinización baja (dispersión por álcali 6,9).
- El rendimiento promedio del cultivar es de 9.000 kg/ha, se destaca por presentar gran estabilidad de rendimiento, buen comportamiento en siembras tardías respecto a las demás variedades indicas y resistencia a desgrane.

### 2.2 NUTRICIÓN NITROGENADA DE LA PLANTA DE ARROZ

Los principales factores que determinan el rendimiento en el cultivo de arroz son: genotipo o variedad sembrada; condiciones ambientales imperantes (principalmente temperatura y radiación solar); suministro adecuado de agua y disponibilidad de nutrientes.

La nutrición mineral se encuentra regida por la ley del mínimo y por los criterios de esencialidad. Hasta el momento se han encontrado 17 elementos esenciales para la nutrición de las plantas superiores, dentro de las cuales el carbono (C), el hidrogeno (H) y el oxigeno (O) representan del 90 al 95% de la materia seca vegetal y son obtenidos del aire y del agua. Entre los 14 restantes se encuentran los macro y micronutrientes, clasificados en función de las cantidades demandadas por el vegetal,

estos representan hasta el 4% de la materia seca y son absorbidos desde el suelo por las raíces.

El nitrógeno es el cuarto elemento en importancia en función de su concentración en los tejidos vegetales. Dependiendo de la especie vegetal, el estado de desarrollo y el órgano, la concentración óptima de nitrógeno en planta varía entre 2 y 5%. En la planta de arroz los niveles normales de nitrógeno en planta oscilan entre 2,5 - 3,5% en la etapa que va desde macollaje a inicio de primordio y de 2,5 a 4 % en plantas de más de 30cm (Mejía de Tafur y Menjívar, 2010).

Los mismos autores manifiestan que entre las principales funciones del nitrógeno en las plantas se destacan su participación en la estructura de las proteínas y enzimas, las primeras cumplen funciones estructurales, constitutivo-estructurales, de transporte y de almacenamiento, mientras que las segundas se encargan de catalizar procesos de nutrición. El N es también un regulador de crecimiento, por su acción a nivel de promoción de la reproducción celular y por lo tanto del macollaje, aumento del tamaño de las hojas, incremento en el número de granos por panícula, tamaño y contenido de proteína de los granos.

Ward et al., citados por Solorzano (2003) reportan un rango de concentración de nitrógeno en hojas nuevas completamente expandidas al momento de diferenciación de la panícula de 2,8 a 4,2% como niveles de suficiencia.

Yoshida, citado por Mejía de Tafur y Menjívar (2010) reporta que existe una correlación positiva entre el número de granos por unidad de área y el total de nitrógeno absorbido por la planta hasta el momento de floración.

### 2.2.1 Requerimientos de nitrógeno del cultivo de arroz

El cultivo de arroz, para variedades de alto rendimiento, puede realizar extracciones en torno a los 200kg de N por hectárea, lo cual se corresponde con 18,4kg de N por tonelada de grano cubierto producido (Atanasiu, 1985).

Benintende et al. (2011) reportan valores promedio de nitrógeno absorbido durante todo el ciclo del cultivo para tres cultivares de arroz, de 119kg N/ha, similares a los encontrados por Angus et al., citados por Benintende et al. (2011) de 111 kg N/ha.

De Battista y Arias (2005) reportan requerimientos de nitrógeno diferenciales según variedad: El Paso 15-17 kg N/tt de grano, Bluebelle y Don Juan INTA 18-20 Kg N/tt de grano. Estos autores además citan que García reportó requerimientos promedio de 22 kg N/tt de grano.

En Uruguay, los cultivos de arroz para obtener los rendimientos promedio alcanzados a nivel comercial (superiores a 8 tt/ha) absorben aproximadamente 170kg/ha de nitrógeno (Deambrosi et al., 2007), de los cuales según Fagueria, citado por Castillo et al. (2011) 90 kg/ha son extraídos en los granos, mientras que el resto queda en el rastrojo.

### 2.2.2 Absorción de nitrógeno

Según Yamakawa et al., citados por Mejia de Tafur y Menjiuar (2010) la cantidad total de nitrógeno que absorbe la planta esta determinada por la disponibilidad del nutriente en el suelo más que por la demanda nutricional de la planta o por su habilidad de tomar nitrógeno después del inicio de la panícula, característica muy relacionada al cultivar sembrado. El rendimiento por tanto es una variable dependiente de la disponibilidad de nitrógeno en las etapas claves del desarrollo de las plantas.

Según experimentos diseñados para medir la eficiencia del consumo de nitrógeno del fertilizante, usando nitrógeno marcado, indican que el arroz fertilizado extrae del suelo del 50 a 80% del nitrógeno requerido, dependiendo de la capacidad de aporte del suelo y de la cantidad de fertilizante agregado (Toyama, Broadbent, De Datta, citados por Deambrosi y Mendez, 1996). Por lo cual los niveles de fertilizante agregado deberían ajustarse en función de la capacidad de aporte de nitrógeno del suelo.

La absorción de nitrógeno por la planta puede realizarse como ion amonio ( $\text{NH}_4$ ) o como ion nitrato ( $\text{NO}_3$ ). La mayor parte del nitrógeno absorbido como  $\text{NH}_4$  se incorpora a compuestos orgánicos en las raíces, mientras que el  $\text{NO}_3$  es móvil en el xilema y se puede almacenar en vacuolas y demás órganos aéreos de la planta, si bien la acumulación de nitratos en la planta es importante para el balance iónico y la osmoregulación, este se debe reducir a  $\text{NH}_4$  para ser incorporado en los esqueletos carbonados.

La absorción de N por la planta, respeta una cinética de saturación, debido a que el transporte del nutriente a través de la membrana plasmática de las células de la raíz es facilitado por proteínas transportadoras y requiere de energía.

El suministro de nitrógeno debe ser constante durante todo el ciclo del cultivo, pero la planta de arroz realiza una extracción diferencial en términos relativos, dependiendo de la etapa fenológica en la cual se encuentre. Desde la siembra hasta el máximo macollaje, la extracción es de aproximadamente un 37% del total, mientras que desde el comienzo de primordio floral a inicio de floración la misma es de un 31%, descendiendo a un 20% en el período que abarca desde inicio de floración hasta maduración total (Ishizuka, citado por Atanasiu, 1985).

Solórzano (2003) en estudios tendientes a evaluar el patrón de absorción y acumulación de los principales nutrientes en arroz en relación a la acumulación de materia seca, encontró que las máximas tasas de acumulación de nitrógeno se dan a partir de primordio y durante llenado de grano. Por otro lado observó un período de estancamiento donde las tasas de absorción son prácticamente nulas, correspondiente al período que va desde emergencia de la panícula hasta fecundación de las flores. El total de nitrógeno absorbido en el experimento fue de 151 kg N/ha.

Antes de la floración la mayor proporción del nitrógeno absorbido se acumula en láminas y vainas, siendo posteriormente translocado a los granos (75% de nitrógeno absorbido). El contenido total de nitrógeno en los granos depende además de la cantidad del nutriente disponible en el suelo durante la etapa de llenado, constatándose que a mayor dosis de nitrógeno aplicado como fertilizante el nivel de proteína en grano aumenta (Mejia de Tafur y Menjiuar, 2010).

Según De Datta (1986) el nitrógeno absorbido por la planta en los diferentes momentos del ciclo del cultivo ejerce acción sobre diferentes componentes de rendimiento. Desde macollaje hasta primordio floral, el nitrógeno absorbido tiende a aumentar el número de macollos y panículas, el absorbido entre primordio floral y floración aumenta el número de espiguillas llenas y el absorbido posterior a la floración aumenta el peso de granos.

### 2.2.3 Fuentes de nitrógeno

El arroz fertilizado obtiene de 50 a 80% del nitrógeno del suelo, siendo esta proporción mayor, en términos relativos, en un cultivo sin fertilizar, por lo cual depende mayoritariamente de la mineralización de fuentes orgánicas para la absorción de N (Koyama y Broadbend, citados por De Datta, 1986).

Watanabe et al., citados por De Datta (1986) resumiendo datos de Japón, Indonesia, Tailandia y Filipinas comunicaron que el cultivo de arroz puede captar de 37 a 113 kg de N/ha de otras fuentes que no sean fertilizantes.

El suministro de nitrógeno en el cultivo de arroz proviene mayoritariamente de: nitrógeno inorgánico presente en el suelo al momento de la inundación; nitrógeno mineralizable de la materia orgánica del suelo y residuos de planta en condiciones de inundación; nitrógeno fijado por algas y bacterias heterotróficas y nitrógeno aplicado como fertilizante (De Datta, 1986).

Benintende et al. (2011) mediante experimentos orientados a evaluar el potencial de mineralización del nitrógeno en suelos arroceros de Entre Ríos (Argentina), encontraron una alta correlación ( $R^2 = 0,79$ ) entre el porcentaje de nitrógeno total en el suelo y el aporte por mineralización al cultivo. La función obtenida reporta un piso de



0,06% por debajo del cual los aportes por mineralización son inexistentes y un incremento de 85 ppm de nitrógeno por cada 0,1% de aumento en el nitrógeno del suelo.

Los mismos autores, determinaron un valor promedio de mineralización in situ durante todo el ciclo del cultivo, en suelos pesados (peludertes argicos y argiduoales vérticos) bajo diferentes sistemas de rotación, de 139 kg N/ha alcanzando valores máximos de 244 kg N/ha. Representando el 70,6% del nitrógeno absorbido por el cultivo.

Según Beecher et al., citados por Benintende et al. (2011) la tasa de mineralización no alcanza a cubrir la demanda del cultivo una vez iniciada la formación de la panoja.

Brady et al., citados por Atanasiu (1985) plantea que la eficiencia de uso del nitrógeno suministrado como fertilizante varía entre un 20 y 60% dependiendo de las condiciones de aplicación, por lo cual la implementación de prácticas que minimicen las pérdidas resulta de marcada importancia.

Información generada a nivel nacional reporta una respuesta relativamente baja al agregado de nitrógeno como fertilizante, donde los rendimientos logrados por los testigos sin fertilizar alcanzan rendimientos equivalentes a 80-90% respecto a la dosis óptima de fertilizante. La eficiencia del nitrógeno aplicado como fertilizante es muy baja, con un valor promedio de 30% (Deambrosi y Mendez, 2007). Lo cual evidencia que el cultivo se abastece de otras fuentes de nitrógeno.

Castillo et al. (2011) mediante el uso de técnicas isotópicas encontraron que ni el nitrógeno proveniente de FBN ni el agregado como fertilizante nitrogenado constituyen una fuente importante del nutriente para el cultivo.

Los mismos autores, lograron obtener una aproximación de la cantidad del nitrógeno derivado del fertilizante que queda en el suelo al momento de la cosecha sin ser tomado por el cultivo, reportando valores promedio de 81, 75 y 17% del nitrógeno agregado en siembra, macollaje y primordio respectivamente.

#### 2.2.4 Dinámica del nitrógeno en suelos inundados

En las condiciones de producción nacional el cultivo de arroz se desarrolla sobre dos condiciones de humedad de suelo contrastantes, hasta los 30-40 días post emergencia, las plantas se encuentran sobre suelo drenado, mientras que desde ese momento en adelante se inunda el cultivo y el suelo pasa a encontrarse en condiciones de anaerobiosis.

Las transformaciones y los balances de nitrógeno en suelos arroceros inundados se presenta en forma diferente a los cultivos tradicionales, debido a que el suelo inundado ofrece un conjunto de condiciones químicas (oxidación-reducción), físicas (suelo batido) y microbiológicas (aeróbicas vs. anaeróbicas), que influyen en las transformaciones del nitrógeno y en su destino final (Carrillo de Cori et al., 1991b).

Según Doberman y Fairhurst (2000) en suelos inundados existe una mayor disponibilidad de nitrógeno. Pero debido a las condiciones físico-químicas del suelo existe un gran potencial de pérdida de nitrógeno por denitrificación y volatilización (Norman et al., citados por Quintero et al., 2011).

La mayor parte del nitrógeno inorgánico que existe en suelos reducidos es soluble en agua o absorbido en el complejo de intercambio y se encuentra bajo forma de amonio, debido a que la mineralización del nitrógeno orgánico no procede mas allá de esta etapa a causa de los requerimientos de oxígeno para el pasaje a nitrato (De Datta, 1986).

Luego de la inundación el oxígeno presente en el suelo es consumido rápidamente por los microorganismos, baja el potencial REDOX y trae aparejada una reducción de los nitratos a nitritos y nitrógeno molecular (De Datta, 1986).

En suelos inundados la mineralización del nitrógeno orgánico a inorgánico y viceversa son procesos altamente correlacionados. En anaerobiosis mediante el proceso de amonificación el nitrógeno orgánico llega hasta la forma de amonio por descomposición enzimática (Alexander, citado por Adams, 1995). La temperatura de suelo constituye el factor más importante en controlar la cinética y la magnitud de la formación de amonio en suelos inundados (Adams, 1995).

Según Adams (1995), el amonio formado por mineralización de la materia orgánica puede ser objetivo de intercambio catiónico, adsorción química por sustancias humicas, fijación en arcillas e inmovilización por microorganismos. La velocidad e intensidad de estas reacciones están influenciadas por la naturaleza y cantidad de materia orgánica, período de inundación, adición de fertilizantes y tipo de labranza, entre otros.

La inmovilización de nitrógeno por microorganismos en suelos inundados es de menor magnitud que la existente en suelos con condiciones de aerobiosis, (Acharya, citado por De Datta, 1986). En la bibliografía se citan dos causas de la baja población microbiana en suelos inundados, la primera, que el metabolismo anaeróbico es por naturaleza menos eficiente que el aeróbico para proveer energía para la síntesis de nuevas células y la segunda, que los actinomicetes y hongos que convierten del 15 al 40% del carbono, son inactivos en suelos anaeróbicos debido a la falta de oxígeno (Broadbent, citado por De Datta, 1986).

#### 2.2.4.1 Procesos más importantes de pérdida de nitrógeno

Carrillo de Cori et al. (1991a) afirman que la recuperación del nitrógeno del fertilizante aplicado en arroz es de 20 a 40%, por lo cual el restante 60-80% podría estar sujeto a algún tipo de pérdida.

Los procesos químicos que determinan las pérdidas de nitrógeno aplicado como fertilizante en suelos inundados, son altamente dependientes de las condiciones en las cuales se realiza la aplicación y del manejo del riego (Gamarra, 1993).

Las principales fuentes de pérdida de nitrógeno experimentadas por suelos inundados son: denitrificación y volatilización, las cuales explican la baja eficiencia de utilización de los fertilizantes nitrogenados por el cultivo (De Datta, 1986).

La denitrificación es el proceso mediante el cual el nitrógeno del suelo se pierde a la atmósfera como nitrógeno molecular. La oxidación biológica del amonio a nitrato tiene lugar en la interfase aeróbica del suelo. Esto resulta en un gradiente de concentración de amonio en la interfase anaeróbica a la interfase aeróbica donde se nitrifica. El nitrato allí formado difunde a la interfase anaeróbica donde es rápidamente desnitrificado (Adams, 1995).

La lenta velocidad de difusión de amonio desde la capa reducida a la capa oxidada y el proceso de nitrificación en la capa oxidada, son los procesos que limitan las pérdidas de nitrógeno en la secuencia nitrificación- denitrificación, ya que la difusión del nitrato a la capa reducida y la reducción a nitrógeno molecular son procesos muy acelerados (Adams 1995, Reddy et al., citados por Deambrosi y Mendez 2009).

Atanasiu (1985) plantea que la magnitud de las pérdidas de  $\text{NO}_3$  por denitrificación dependen de: el potencial REDOX; la temperatura; el contenido de  $\text{NO}_3$  (proveniente de la nitrificación del  $\text{NH}_4$  o de incorporaciones por fertilización) y del contenido de materia orgánica.

Si bien la denitrificación es un proceso que se encuentra favorecido por condiciones de anaerobiosis o exceso de humedad y alta temperatura, debe existir nitrato y una fuente carbonada como sustrato (De Datta, 1986).

Debido a que las bacterias desnitrificadoras necesitan materia orgánica como fuente de carbono para sus actividades, la naturaleza y la cantidad de materia orgánica en el suelo son factores que determinan los procesos de denitrificación. Por lo cual en suelos con bajo contenido de materia orgánica las pérdidas por denitrificación pueden ser de poca importancia (Adams, 1995).

Yoshida y Padre, citados por Carrillo de Cori (1991b) demostraron la importancia del manejo del agua en el cultivo de arroz en relación a las pérdidas de nitrógeno y la naturaleza de las mismas, encontrando que en los sistemas de inundación con agua fluctuante se dan las mayores pérdidas de nitrógeno, adjudicando esto a los procesos de nitrificación y denitrificación.

La volatilización constituye otra de las vías de pérdida del nitrógeno presente en suelos inundados. El proceso ocurre a través del pasaje de amonio a amoniaco (gas) el cual se pierde a la atmósfera. La velocidad de las pérdidas está en función directa de la concentración de amonio en el suelo (Adams, 1995).

En el pasaje de amonio  $\text{NH}_4$  a amoniaco  $\text{NH}_3$  se libera un  $\text{H}^+$ , por lo cual el pH y la capacidad buffer del suelo influyen en el proceso de volatilización (Adams, 1995).

El pH del sistema suelo-agua determina la forma en la cual se presentan las moléculas de amonio, con un pH inferior a 7 predominan iones amonio, mientras que con un pH superior a 8,5 existe predominancia de amonio libre (Gould et al., citados por Deambrosi y Mendez, 2009).

Los factores que alteran el pH del suelo son los responsables de cambios en el la magnitud de las pérdidas por volatilización. En suelos con pH inferiores a 7,5 las pérdidas por volatilización son insignificantes, mientras que cuando el pH sube por encima de 8 existen pérdidas considerables (Fillery et al., Diest, citados por Deambrosi y Mendez, 2009).

El pH del agua esta relacionado con la concentración de  $\text{CO}_2$  y la actividad del ion bicarbonato ( $\text{HCO}_3$ ), con la aplicación de urea existe un aumento en la concentración de bicarbonato en el suelo, generándose un aumento en el pH y por consiguiente aumentando las pérdidas por volatilización (Ponnamperuma, citado por Deambrosi y Mendez, 2009).

De acuerdo a lo planteado por Craswel, De Datta, citados por Gamarra (1996) las pérdidas de nitrógeno por volatilización pueden alcanzar hasta un 60% cuando la fertilización se realiza con urea.

En un experimento realizado por Carrillo de Cori (1991a) evaluando las pérdidas de nitrógeno aplicado como fertilizante mediante el uso de  $\text{N}_{15}$ , encontraron que del nitrógeno aportado por urea un 48% se pierde, mientras que el restante 52% queda en granos (25%), paja, raíces y suelo. Las pérdidas se adjudican principalmente al proceso de volatilización.

### 2.2.5 Manejo del agua y aplicación de nitrógeno

Las aplicaciones de urea previas a la inundación son recomendadas por varios autores y se sustentan en que el fertilizante es incorporado en un suelo seco antes de inundar, se mueve en profundidad acompañando el movimiento del agua y quedando retenido como amonio en los coloides del suelo aumentando la eficiencia de uso del mismo (Humphreys et al., citados por Deambrosi y Mendez, 2009).

Norman et al., citados por Quintero (2011), recomienda realizar la fertilización en suelos seco e inundar dentro de un plazo de 5 días desde la aplicación del nitrógeno.

El manejo del riego es un factor fundamental a considerar para reducir las pérdidas de nitrógeno. La alternancia de condiciones aeróbicas y anaeróbicas debido a la alternancia de inundación y secado del suelo provoca tanto la nitrificación como la desnitrificación, causando pérdidas de N proveniente de la materia orgánica y de los fertilizantes (De Datta, 1986).

Las aplicaciones de urea sobre suelos inundados pueden determinar elevados niveles de volatilización. Las pérdidas de nitrógeno como  $\text{NH}_3$  en suelos inundados se encuentran directamente relacionadas con la concentración de  $\text{NH}_4$  y el pH del agua. La urea determina un aumento en la concentración de  $\text{HCO}_3$  como producto de la hidrólisis de  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , lo cual determina un aumento en el pH del agua y por consiguiente un aumento en las pérdidas de  $\text{NH}_4$  (estable en suelos inundados) por volatilización. La aplicación fraccionada es una de las medidas de manejo tendientes a maximizar la recuperación del nitrógeno aplicado como urea en suelos inundados (Carrillo de Cori et al., 1991b).

### 2.2.6 Momento de aplicación

Existen diversas formas de disminuir las pérdidas del nitrógeno suministrado en la fertilización, dentro de las cuales se destacan el fraccionamiento de dosis aplicadas en diferentes momentos del ciclo del cultivo, uso de inhibidores de la desnitrificación, uso de fuentes de liberación lenta de nitrógeno e incorporación de fertilizante con el agua de inundación. En las condiciones de producción de nuestro país la práctica más viable y de mayor implementación es la de fraccionamiento de dosis (Gamarra, 1996).

Ferres y Piriz (1989) evaluando la aplicación de N fraccionado en tres dosis aplicadas a la siembra, macollaje y primordio, encontraron un mejor comportamiento del fraccionamiento respecto a una única aplicación. Estos resultados no son extrapolables a todas las situaciones, de acuerdo a que la respuesta es muy dependiente de características del sistema suelo-agua-planta que determinan el potencial de pérdidas de nitrógeno.

De Datta et al. (1969) establece que no existen ventajas en aplicar el nitrógeno en forma fraccionada, si la variedad de arroz utilizada es resistente al vuelco y se cultiva en un suelo de alta fertilidad, por lo contrario si no se cumplen dichas condiciones los rendimientos se ven significativamente aumentadas por realizar fraccionamiento.

Evatt y Hodges, citados por Gamarra (1996) enfatizan en que el fraccionamiento de la fertilización se hace necesario debido a que: es difícil de determinar la dosis necesaria antes de la zafra, las dosis demasiado elevadas pueden incrementar el vuelco y promover la infestación con malezas, y ésta constituye una práctica eficiente en reducir las pérdidas de nitrógeno.

Barrios y Adams (1996) confirman la influencia de la tecnología de fertilización (dosis, época y forma de aplicación) sobre el aprovechamiento del nitrógeno, lo cual se traduce en mayor contenido total de nitrógeno en planta y rendimiento en materia seca. La aplicación fraccionada del fertilizante ofrece a la planta una mayor disponibilidad de nitrógeno durante todo el ciclo, explicando porque en determinadas situaciones el fertilizante aplicado en forma fraccionada determina mayor rendimiento que el suministrado en una única aplicación.

Castilla y Reyes (2003) encontraron un aumento en el número de granos llenos y disminución el porcentaje de estériles en respuesta al fraccionamiento de las aplicaciones de nitrógeno.

Trabajos realizados a nivel nacional muestran respuestas poco consistentes y muy dependientes del año y de las condiciones particulares de cada experimento al fraccionamiento del fertilizante nitrogenado.

Deambrosi y Méndez (1993, 1995) en suelos de la zona Este del país, con bajo tenor de materia orgánica (Río Branco) encontraron un aumento en el número de panojas por metro cuadrado con la aplicación de coberturas de N en primordio, la cual mejorara la supervivencia de macollos.

Deambrosi et al. (2005) trabajando en Paso de la Laguna (Uruguay), con el cultivar INIA Olimar, evaluaron 5 dosis de nitrógeno (0- 35-70-105 y140 kgN/ha) y 4 tipos de fraccionamiento, encontrando que el mejor fraccionamiento fue 20% a la siembra, 50% en macollaje y 30% en primordio, donde el máximo físico se presentó a los 88kg de nitrógeno, con una eficiencia de conversión de 8,9 kg de arroz por unidad de nitrógeno aplicado.

En Río Branco, Fabre et al. (2007) trabajando con la variedad BRS jacana, diferentes dosis (50-55-100-125-150-175-200 kgN/ha) y momentos de aplicación de nitrógeno (50%siembra y 50% a los 45 días post emergencia; 50% a los 15 días y 50% a

los 45 días; 100% a los 15 días y 100% 45 días) encontró que la mejor combinación fue 118kg N/ha distribuidos mitad en al siembra y mitad 45 días post emergencia.

Deambrosi et al. (2008) trabajando con las variedades INIA Olimar y El Paso 144 no encontraron diferencias significativas entre diferentes tratamientos de fraccionamiento de las dosis de nitrógeno, lo cual se corresponde con lo encontrado por el mismo autor para INIA Olimar en el año 2006.

### 2.2.7 Factores que condicionan la respuesta a nitrógeno

Deambrosi y Méndez (2007) destacan que deben existir condiciones de alta luminosidad, sobre todo en el período crítico de 20 días pre y post floración, y baja frecuencia de ocurrencia de temperaturas inferiores a los 15°C, durante tres o más días consecutivos durante la etapa reproductiva, para que exista un aumento en la productividad como respuesta a la fertilización nitrogenada.

Los mismos autores concluyen que baja oferta solar durante la etapa reproductiva disminuye las probabilidades de incremento de la productividad por el agregado de nitrógeno, incluso puede mostrar un efecto depresivo sobre los rendimientos, debido a que en tal situación se incrementa la altura de la planta y disminuye el índice de cosecha.

Stansel et al., citados por Lavecchia (1991) encontraron disminuciones del 30% en el rendimiento, cuando se producen descensos de 30% de horas luz para niveles medios de fertilización nitrogenada.

La respuesta del cultivo además de encontrarse limitada por las condiciones ambientales (luminosidad y temperatura) imperantes, depende de factores tales como: cultivar, disponibilidad de nutrientes, manejo del riego, forma y momento de aplicación, entre otros.

Deambrosi et al. (2004) reportan que altas fertilizaciones nitrogenadas a cultivares poco tolerantes a frío en etapa reproductiva pueden incrementar la esterilidad de las espiguillas.

Trabajos llevados a cabo en diferentes países muestran la influencia de los factores citados anteriormente en la respuesta del cultivo de arroz a la fertilización nitrogenada.

A nivel nacional Chebataroff et al. (1980, 1983) trabajando con tres variedades de arroz, (BR (EEE) 409, Bluebelle y Selección 976) y cuatro dosis de nitrógeno (0, 50, 100 y 150 unidades) en dos años con diferentes niveles de radiación recibida durante el

período crítico, no encontraron respuesta a nitrógeno en condiciones de alta radiación y en condiciones de baja observaron una significativa reducción en el rendimiento en los niveles más altos de fertilización.

En Colombia, Barreto y Rojas (1987), trabajando con dos manejos de del agua (lámina rotacional 0,5cm y saturación) en tres niveles de desarrollo del cultivo y tres niveles de fertilización nitrogenada (80, 120 y 160kg/ha), encontraron que el rendimiento presentó correlación directa con el número de granos por panícula ( $r=0,37$ ), la altura de la planta ( $r=0,34$ ) y los niveles de nitrógeno ( $r=0,40$ ). Los rendimientos en arroz cáscara fueron afectados por la interacción de los factores manejo del agua y niveles de nitrógeno, siendo más significativas las prácticas de riego. El rendimiento promedio alcanzado en el experimento fue de 7295kg/ha.

Eriksen et al. (1985) evaluando diferentes formas de aplicación de la urea (aplicación superficial de urea comprimida en tres dosis divididas o una vez con supergránulos de urea aplicada a diferentes profundidades) en condiciones de inundación continua e intermitente, encontraron que el rendimiento en grano fue siempre inferior en inundación intermitente, en especial cuando las plantas fueron fertilizadas con aplicaciones superficiales de urea granulada.

#### 2.2.8 Efecto del nitrógeno sobre los componentes del rendimiento y materia seca de parte aérea

El crecimiento de la planta de arroz se ve afectado directamente por la fertilización nitrogenada. Diversos trabajos a nivel nacional e internacional reportan diferentes efectos de la fertilización nitrogenada en la planta de arroz.

Deambrosi et al. (2004) en ensayos realizados con la variedad INIA Olimar, evaluando diferentes densidades de siembra y dosis de nitrógeno (0, 40, 80 y 120 kg/ha), encontraron diferencias muy significativas en rendimiento debido a aplicaciones de nitrógeno sin evidenciar diferencias en índice de cosecha entre tratamientos. El rendimiento promedio del ensayo fue de 10.971 kg/ha.

Según Dobermann y Fairhurst (2005) aplicaciones excesivas o desbalanceadas de nitrógeno pueden reducir el rendimiento por las siguientes razones: sombreado entre hojas causado por el excesivo crecimiento vegetativo; incremento en el número de macollos improductivos que compiten con los fértiles reduciendo la producción de granos; vuelco causado por la producción de tallos largos y delgados; incremento en el número de granos estériles; incremento en la incidencia de enfermedades causadas por bacterias tales como xantomonas u hongos como pyricularia, debido al mayor crecimiento de las hojas y a una excesiva biomasa e incremento en la incidencia de insectos.



Rojas et al. (1983), encontraron que los aumentos en el suministro de nitrógeno se relacionan con altura de la planta, número de tallos y peso de materia seca. Los mismos autores citan a Otta y Yamada, quienes encontraron que altas dosis de nitrógeno incrementan el porcentaje de esterilidad floral, siendo menor el incremento en variedades de alta respuesta.

Counce y Wells, citados por Deambrosi y Mendez (2007) reportan que las respuestas de los componentes de rendimiento a las aplicaciones de nitrógeno variaron con las poblaciones de plantas. Con poblaciones bajas los incrementos en rendimiento se explicaron por mayor macollaje, con poblaciones óptimas el mayor rendimiento es debido a una combinación de mayor macollaje y aumento en el número de granos por panoja, mientras que en poblaciones excesivas el número de granos por panojas es el principal componente explicando el aumento en el rendimiento.

### 2.3 REQUERIMIENTOS HIDRICOS DEL CULTIVO DE ARROZ Y SISTEMAS DE RIEGO

La evapotranspiración constituye el agua transferida desde el suelo a la atmosfera, incluyendo la evaporación desde el suelo, la lámina de agua y la planta, y el agua transpirada desde el cultivo. Dicho proceso se encuentra influenciado por diversos factores climáticos tales como radiación, humedad relativa, temperatura y viento, factores de suelo como disponibilidad de agua y factores del cultivo como tipo y estado fenológico.

García, citado por Moor et al. (2008) reportaron que un cultivo de arroz de ciclo largo como El Paso 144 puede llegar a tener un gasto de 700mm de agua por evapotranspiración en todo su ciclo.

Las tasas de evapotranspiración típicas de un cultivo de arroz son 4-5 mm/día en la estación húmeda y de 6 a 7 mm/día en la estación seca, pero pueden ser tan altas como 10 – 11 mm/día en regiones subtropicales (Tabbal et al., citados por Bouman et al., 2007).

Durante el período de crecimiento del cultivo, entre el 30 y 40% de la evapotranspiración es la evaporación (Bouman et al., Simpson et al., citados por Bouman et al., 2007).

El suministro adecuado de agua es uno de los factores más importantes en la producción de arroz. Pero solo el 15% del agua total absorbida es utilizada, el resto se transpira por los estomas (Mejia de Tafur y Menjiuar, 2010).

La principal razón para inundar los cultivos de arroz es que la mayoría de las variedades presentan un mejor comportamiento en suelos saturados. El agua cumple funciones esenciales en el cultivo: modifica las características físicas de la planta, cambia las características físico-químicas, el estado nutricional y físico de los suelos y ejerce control sobre el enmalezamiento, entre otras (Mejia de Tafur y Menjiuar, 2010).

### 2.3.1 Efectos de la restricción hídrica en la planta de arroz

A continuación se presenta una lista de mecanismos que se desencadenan en la planta de arroz cuando el contenido de agua del suelo desciende a niveles inferiores a saturación realizado por Bouman y Toung (2001) con un compilado de resultados obtenidos por Singh y Singh, De Datta, Yoshida, Sharma, Wopereis, Garrity y O'Toole, Wopereis et al.

1. Inhibición de la producción de hojas y disminución del área foliar, lo que determinan menor fotosíntesis. La expansión del área foliar se reduce en cuanto el suelo se seca por debajo de saturación (tensiones de saturación superior a 1 kPa).
2. Cierre de estomas, reducción de la tasa de transpiración y reducción de la fotosíntesis.
3. Enrollamiento de hojas, llevando a una reducción efectiva del área foliar para la intercepción de luz.
4. Senescencia foliar.
5. Cambios en la partición de asimilados. Mayor crecimiento radicular.
6. Reducción de la altura de la planta.
7. Retraso de la floración. La falta de agua en estado vegetativo puede retrasar la floración hasta 3 a 4 semanas en variedades insensibles a fotoperíodo. El retraso en la floración es mayor cuando la sequía es a principios de la etapa vegetativa.
8. Reducción del macollaje. Restricción hídrica antes o durante el macollaje reduce el número de tallos y panículas por metro.
9. Reducción del número de espiguillas cuando la sequía se produce entre la iniciación de la panícula y floración, lo que resulta en disminución del número de granos por panoja.

10. El arroz es muy sensible a la reducción en la disponibilidad de agua en el período de floración, afectando enormemente a esterilidad de espiguillas
11. Disminución del peso de granos frente a sequías después de floración.

Como se puede observar en los puntos anteriores existen efectos reversibles mientras que otros afectan en forma permanente el rendimiento, dependiendo del momento de ocurrencia de la sequía.

De Datta y Williams, citados por Bouman y Toung (2000) evaluando diferentes momentos y duración de déficit hídrico en el cultivo de arroz, encontraron que la reducción del rendimiento en grano esta mas relacionado a la duración del estrés por sequía que a la etapa de crecimiento de la planta en la cual se produjo el estrés.

### 2.3.2 Manejo del agua de riego

El inicio del riego en cultivares de ciclo medio a largo en ausencia de competencia con malezas y buenas condiciones hídricas previas, puede retrasarse como máximo al estado de 4-5 hojas a los 15-20 días post emergencia (Goncalves, 2010).

La altura de la lámina de agua es un factor determinante en los costos del riego y el volumen de agua utilizado, según Goncalvez (2010) con alturas de lámina de 2,5 cm se pueden lograr altos rendimientos en granos de arroz, pero se requieren óptimas sistematizaciones de chacra y cuidados específicos en enmalezamiento. Alturas de entre 5 y 10cm requieren menores cuidados en uniformidad del microrelieve, pero implican mayores gastos de agua.

El mismo autor destaca que alturas de lámina superiores a los 10cm implican disminución el macollaje y promueven mayor crecimiento en altura de las plantas, favoreciendo el vuelco, aumenta las pérdidas de agua por infiltración lateral, percolación y provocan mayor evaporación durante la noche por mayor acumulación de energía térmica.

La altura de la lámina de agua puede ser manejada en función de el estado de desarrollo del cultivo, en la fase vegetativa puede mantenerse la lámina lo mas bajo posible, lo cual aumenta el macollaje y el enraizamiento de la plantas, en la medida que la planta se desarrolla la altura de lámina debe ser aumentada en forma gradual hasta alcanzar los 10cm, los cuales deben mantenerse durante el resto del período (Goncalves, 2010).

Bouman y Toung (2000) afirman que el cultivo de arroz necesita condiciones de saturación de suelo como elemento principal para que el cultivo exprese su máximo potencial, restando importancia a la altura de la lámina de agua.

Blanco y Roel (1992, 1993, 1994) evaluando efecto de diferentes alturas de lámina (encharcado permanente; 10cm y 20cm) no encontraron diferencias significativas en rendimiento, observándose una tendencia a mayores rendimientos a mayor altura de lámina.

### 2.3.3 Sistemas de riego

Los sistemas de riego mayormente utilizados en Uruguay hasta el momento son riego continuo durante todo el ciclo y riego intermitente.

El riego continuo consiste en inundar el suelo 30 o 40 días post emergencia estableciendo una lámina de agua de entre 5 y 10cm y mantenerla hasta el fin del ciclo del cultivo (Böcking, 2008). Mientras que riego intermitente se basa en el principio de reducción de los flujos de salida (flujos laterales y precolación) y aumento en la productividad del agua, y consiste en la reducción de la lámina de agua, manteniendo el suelo saturado o régimen de alternancia entre suelo húmedo y seco (Roel et al., 2010).

El sistema de riego intermitente se caracteriza por un uso mas eficiente de las precipitaciones ocurridas entre riegos, debido a que el tiempo transcurrido entre la aplicación de una lámina y la siguiente varia dependiendo de condiciones climáticas, requerimientos del cultivo, tasa de infiltración y pérdidas laterales (Böcking et al., 2008).

Bouman y Toung, Tobbal et al., citados por Roel et al. (2010) destacan que el sistema de riego intermitente puede resultar en una reducción del rendimiento en las variedades de arroz utilizadas actualmente.

Existen diversos trabajos a nivel nacional e internacional que evaluaron la implementación de sistemas de riego intermitente comparándolo con el sistema de riego continuo tradicional.

En Uruguay trabajos realizados desde 2006 en adelante reportan que la implementación de riego intermitente permitió disminuir el consumo de agua en un 25%, sin evidenciarse efectos consistentes en rendimiento. La eficiencia en el uso del agua se vio incrementada en un 13% por el uso de riego intermitente en relación al riego continuo (Böcking et al., 2008).

Ensayos llevados a cabo por INIA Tacuarembó en las zonas Centro y Norte del país, desde 2005 a 2010 reportaron ahorros de entre 22% y 35% en el consumo de agua por el uso de riego intermitente, dependiendo de factores tales como clima, tipo de suelo y variedad utilizada. En la mayoría de las evaluaciones no existieron diferencias en rendimiento entre sistemas con riego continuo e intermitente, a excepción de las zafras 2006/07 y 2008/09 en Artigas, en las cuales el uso de riego continuo determinó aumentos de un 11% en el rendimiento (Lavecchia et al., 2006, 2007, 2008, 2009, 2010)

Los sistemas de riego intermitente permitieron un ahorro del uso de agua de riego de 17% y 29% en la zona Centro (Cinco Sauces) Tacuarembó y Norte (Paso Farias) Artigas respectivamente (Carracelas et al., 2012)

En Chile trabajos realizados por Quezada et al. (2011) reportan que el sistema de riego intermitente disminuyó el número de panojas por metro cuadrado, sin afectar el número de granos por panoja y peso de 1000 granos, causando una reducción del 30% en el rendimiento promedio respecto al riego continuo. El ahorro de agua alcanzado implementando el riego intermitente fue de un 41%.

Experimentos llevados a cabo en China por Shi et al., citados por Bouman et al. (2002) evaluando el efecto de tres sistemas de riego en tres variedades de arroz concluyen que el riego intermitente puede reducir considerablemente la utilización de agua (23 a 37%). El rendimiento puede verse incrementado utilizando este tipo de riego, pero la respuesta fue variable entre los diferentes cultivares. Las plantas de arroz bajo riego intermitente presentaron mayor actividad de la raíz, mayor producción de materia seca y mayor contenido de clorofila en las hojas. Los mayores rendimientos encontrados bajo sistemas de riego intermitente pueden relacionarse con el mayor desarrollo radicular que facilita la absorción de nutrientes de capas profundas del suelo.

#### 2.3.4 Volúmenes de agua utilizados para el cultivo de arroz

El volumen de agua requerido para el riego arroz por inundación, es la sumatoria del agua necesaria para: saturar el suelo, formar una lámina, compensar la evapotranspiración y reponer las pérdidas de percolación y flujos laterales (Goncalves, 2010).

Las pérdidas por percolación y flujos laterales de agua dependen de la altura de la lámina de agua y la resistencia al movimiento del agua en el suelo, ambas se consideran en forma conjunta y los valores aproximados para arroz irrigado van de 1 a 5 mm en suelos arcillosos y 25 a 30 mm en suelos franco arenosos y arenosos (Bouman y Toung, 2001).

En Uruguay se utilizan promedialmente 12000m<sup>3</sup> de agua por hectárea para el cultivo de arroz (Roel, 2010), pero los volúmenes reales varían mucho dependiendo de la zona, el tipo de suelo y el sistema de riego, entre otros.

Trabajos realizados años anteriores en la zona Centro y Norte del país reportan volúmenes de agua de riego utilizada por hectárea de entre 11316 y 9966 m<sup>2</sup>/ha para riego continuo e intermitente respectivamente (Böcking et al., 2008).

Roel et al. (1997) midieron el consumo de agua en dos chacras de productores de la zona Centro y Norte del país. En la chacra de Artigas el consumo de agua de riego medido a la entrada del canal (sin contabilizar ineficiencias de 2,5km de canal) fue de 11487m<sup>3</sup>/ha, mientras que en la chacra de Tacuarembó el consumo de agua fue de 8561m<sup>3</sup>/ha.

Los ensayos de riego llevados a cabo por Carracelas et al. (2012) en la zona Norte y Centro del país (Artigas y Tacuarembó) 2011-2012 reportan volúmenes de agua de riego medidos a la entrada de las parcelas que se ubican entre los 9724 y 7532 m<sup>3</sup>/ha para riego continuo e intermitente durante todo el ciclo respectivamente, bajo una sistematización convencional (intervalo vertical de 8 cm) para la localidad de Cinco Sauces (Tacuarembó). En Artigas los volúmenes de agua utilizados se ubicaron entre los 16410m<sup>3</sup>/ha (riego continuo en sistematización convencional) y 10916m<sup>3</sup>/ha (riego intermitente hasta fin de ciclo en sistematización convencional). Es importante destacar que estos valores no consideran pérdidas por ineficiencia de los canales ni por evaporación en las represas.

En Río Grande do Sul Goncalves (2010) destaca que promedialmente son necesarios de 8000 a 10000 m<sup>3</sup> de agua por hectárea para un período de riego de ochenta a cien días. En suelos de textura liviana y/o con pendiente pronunciada, o en años con temperaturas elevadas, humedad relativa del aire baja o con bajas precipitaciones, los volúmenes necesarios son mayores a los presentados.

Blanco, citado por Roel et al. (2010) utilizando aforadores volumétricos en chacras comerciales en la zona Este del Uruguay reportó grandes diferencias en el consumo de agua para riego de arroz entre productores, destacándose rangos de entre 10000 y 26000m<sup>3</sup>por hectárea. Las diferencias en volumen de agua utilizada para riego no se vieron reflejadas en rendimiento, los productores que utilizaban mayor volumen de agua no necesariamente obtenían mayores rendimientos, evidenciando un manejo ineficiente del riego.

De acuerdo a lo planteado en el párrafo anterior resulta cada vez más importante la implementación de medidas de manejo tendientes a racionalizar el uso del recurso agua, entre las estrategias se pueden destacar: sistematización de la chacra, construcción de tapias en forma anticipada; reducción de pérdidas de agua por

escurrimiento superficial y percolación; reducción del período de riego; control de lámina de agua; utilización de variedades de ciclo más corto y uso de sistema de riego intermitente (Roel et al., 2010).

### 2.3.5 Productividad del agua en arroz

La productividad del agua transpirada en arroz de tipo moderno es de 2g de granos por kilogramo de agua (valor similar al de otros cereales C3 como trigo), mientras que la productividad del agua evapotranspirada va desde 0,6 a 1,6 g por kilogramo de agua, valor que también se corresponde con el presentado por el cultivo de trigo. La mayor evaporación que presenta el cultivo de arroz respecto al de trigo es compensada por el mayor rendimiento del primero. La productividad con respecto a la entrada de agua total (riego y precipitaciones) oscila entre 0,2 y 1,2 g de grano por kilogramo de agua en Asia (Bouman y Tuong, Tuong et al., citados por Bouman et al., 2007).

En Uruguay la eficiencia del uso del agua bajo riego continuo es de 0,78kg de arroz producido por metro cúbico de agua, mientras que mediante la implementación de riego intermitente se logra aumentar esta cifra a 0,97 (Böcking et al., 2008).

En la zafra 2011-12 experimentos llevados a cabo en Tacuarembó reportan productividades de agua de riego 1.11 y 0,9 kg de arroz/m<sup>3</sup> para riego intermitente hasta primordio y continuo respectivamente (sistematización con intervalo vertical de 4cm entre taipas ), mientras que bajo sistematización convencional (intervalo vertical de 8cm entre taipas) si bien no existieron diferencias significativas en productividad del agua entre riego continuo e intermitente a primordio (0.84 – 0.93 kg arroz / m<sup>3</sup> agua respectivamente), el riego intermitente a fin de ciclo fue el que determinó la mayor productividad del agua con un valor del orden de 1.16 kg arroz / m<sup>3</sup> agua. En Artigas, la productividad del agua de riego fue significativamente superior en los tratamientos de riego intermitente en relación al riego continuo con valores promedio de 0.82 y 0.67 kg arroz / m<sup>3</sup> de agua de riego respectivamente (Carracelas et al., 2012).

Los valores de productividad del agua son muy cambiantes entre ambientes y entre años debido tanto a la variabilidad climática, la cual determina cambios importantes en demanda atmosférica y suministro de agua de lluvia, como a rendimientos potenciales y reales diferentes (Bouman et al., 2007).

## 2.4 INTERACCION ENTRE SISTEMA DE RIEGO Y REPUESTA A LA APLICACIÓN DE FERTILIZANTE NITROGENADO

La respuesta a la fertilización nitrogenada esta íntimamente ligada al manejo del riego (fecha de comienzo y tipo de inundación) y a la fecha de siembra, por la incidencia de dichos factores en la ubicación del período crítico (Lavecchia, 1991).

A continuación se presentan resultados obtenidos en los últimos años en la zona centro y norte del país.

Marco y Marella (2006) trabajando en la zona norte del Uruguay, con la variedad El Paso 144, evaluaron sistemas de riego continuo e intermitente y diferentes dosis de nitrógeno (53, 76 y 99 unidades de nitrógeno). Los resultados no evidenciaron respuesta a la aplicación de nitrógeno por encima de las 53 unidades en ninguno de los tratamientos de riego. Las diferencias en rendimiento entre los dos sistemas de riego se encontraron únicamente en las taipas. El sistema de riego intermitente utilizó un volumen de agua 12% inferior respecto al continuo y la productividad del agua fue 7% superior.

Moor et al. (2008) en un ensayo con características similares a las del ensayo presentado en el párrafo anterior, con la salvedad de diferir en las dosis de nitrógeno utilizadas, encontraron diferencias significativas en rendimiento 9% superiores en el tratamiento con riego continuo respecto al intermitente, sin evidenciarse diferencias entre los tratamientos de nitrógeno. El ahorro de agua fue 35% superior en el riego intermitente, el cual mostró una eficiencia en el uso del agua 17% mayor.

El uso del sistema de riego intermitente incrementa los riesgos de producción, ya que implica mantener un tercio del área en condiciones de suelo saturado y cualquier error en la conducción del agua puede causar situaciones de estrés hídrico, por otro lado dicha tecnología implica no tener una lámina de agua permanente que actúe como amortiguador frente a condiciones ambientales desfavorables (Böcking et al., 2008).

Lavecchia (2008) Trabajando con ensayos en Paso Farias (Artigas) y Cinco Sauces (Tacuarembó) con el cultivar INIA Olimar, evaluó diferentes sistemas de riego (Continuo vs. Intermitente), diferentes tecnologías de fertilización nitrogenada (dosis y fraccionamientos). Encontró respuesta al sistema de riego y manejo del nitrógeno en Paso Farias (rendimiento promedio del ensayo 8.396kg/ha) mientras que en Cinco Sauces donde el rendimiento promedio del ensayo fue de 10.159kg/ha no se evidenciaron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos, tanto de riego como de manejo del nitrógeno. En ninguno de los dos sitios se encontró respuesta a la interacción sistema de riego por manejo del nitrógeno.



## 2.5 FUNCIÓN DE LAS TAIPAS EN LA SISTEMATIZACION DE CHACRA

Las taipas son estructuras fundamentales en la sistematización de las chacras de arroz, de acuerdo a su función en el manejo y regulación de la profundidad del agua de riego. Deben ser construidas, considerando el nivel del terreno y la compactación de la estructura, para lograr mantener una lámina de agua uniforme de entre 8 y 15cm de altura (Gamarra, 1993)

La siembra de las taipas tiene como objetivos: aumentar la productividad aprovechando el área ocupada por las taipas, que aproximadamente es un 20% del área total del cultivo (dependiendo de la pendiente y del intervalo vertical entre taipas utilizado), aumentar la estabilidad, por la acción de las raíces del cultivo en la consolidación de la taipa evitando roturas, y mejora el control de malezas, evitando la formación de focos de infestación (Vianna, s.f.)

Existen dos tipos de taipas, las tradicionales que son angostas, altas y con préstamos profundos. Éstas presentan como ventaja permitir un mayor nivel de agua, que facilita el cubrir la superficie de chacras mal niveladas, y como desventajas que el cultivo no se implanta en la taipa determinando mayor porcentaje de área improductiva y mayor infestación de malezas. Por otro lado las taipas de tipo moderno, presentan una estructura redondeada, son más anchas y más bajas respecto a las anteriores y presentan préstamos poco profundos. Las principales ventajas de este tipo de taipas radica en que se trabaja con menores volúmenes de agua, el cultivo se implanta bien sobre la taipa y se logra un mayor control de malezas, mientras que las desventajas radican en la mayor exigencia en la nivelación de la chacra y en que aumentan las dificultades de drenaje del campo (Gamarra, 1993).

### 2.5.1 Sistematización múltiple taipa

Los sistemas múltiple taipa consisten en la reducción del intervalo vertical entre taipas, determinando un mayor porcentaje de éstas por unidad de superficie. Las taipas utilizadas en estos sistemas se caracterizan por presentar forma triangular y ser de escasa altura, características que determinan un mayor grado de cobertura de agua en la taipa, mejorando las condiciones hídricas del cultivo que se ubica sobre estas. Dentro de las principales ventajas del sistema múltiple taipa se destacan la mayor velocidad de distribución del agua en el campo y la mayor productividad de las taipas, las cuales se encuentran en condiciones hídricas similares a los cuadros. Mientras que por otro lado la falta de información experimental nacional que avale el mejor comportamiento de éste sistema respecto a los tradicionales constituye una de las principales desventajas a destacar.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Miraballes, R. 2012. Com. personal.

Si bien el diseño en sistematización de los campos de arroz se encuentra ligado a la pendiente, es aconsejable el manejo de taipas que no superen los 15cm. de altura, con el menor intervalo vertical posible entre éstas, de acuerdo a que dichas características contribuyen al aumento en la velocidad de distribución del agua en los cuadros, permiten el manejo de menores volúmenes de agua y mejora el mojado de la superficie de la taipa(Batello et al., s.f.)

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 AREA DE ESTUDIO

Se realizaron una serie de experimentos tendientes a evaluar el efecto de diferentes dosis y el fraccionamiento del fertilizante nitrogenado, bajo dos formas de riego (continuo e intermitente) y dos sistematizaciones de chacra (intervalo vertical de 8cm e intervalo vertical de 4 cm).

Los ocho ensayos constituyen dos repeticiones de cuatro experimentos diferentes llevados a cabo en dos regiones del país (Centro y Norte) que difieren en condiciones climáticas, edáficas y topográficas. Los ensayos ubicados en la zona Centro se realizaron en la localidad de Cinco Sauces departamento de Tacuarembó y los de la zona Norte en la localidad de Paso Farias departamento de Artigas.

#### 3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizaron 8 experimentos completamente aleatorizados, en los cuales se evaluaron 5 tratamientos de fertilización nitrogenada similares en cada experimento, con 3 repeticiones de cada uno, constituyendo un total de 15 unidades experimentales por ensayo. El tamaño de las unidades experimentales fue de 28,8 m<sup>2</sup> (6x 4,8m) en Cinco Sauces y de 26,4m<sup>2</sup> (6x 4,4m) en Paso Farias, incluyendo cada unidad experimental cuadro y taipa, similares para todos los experimentos.

Los 8 experimentos difieren entre si por presentar diferentes combinaciones de sistema de riego y sistematización (Riego continuo y sistematización convencional; riego continuo y sistematización múltiple taipa; riego intermitente y sistematización convencional ; riego intermitente y sistematización múltiple taipa) y por ubicarse en diferentes ambientes (Cinco Sauces, Tacuarembó y Paso Farias, Artigas).

Los ensayos bajo sistematización convencional (riego continuo e intermitente) ubicado en Cinco Sauces debieron ser eliminados del análisis debido a que la alta incidencia y severidad de *Pyricularia oryzae* alteró la respuesta a los tratamientos, sin ajustarse a ningún patrón identificable. Es importante destacar que no existió interacción entre los tratamientos de nitrógeno evaluados y el nivel de enfermedad en el cultivo.

### 3.2.1 Modelo estadístico

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

$$i = 1, 2, 3, 4, 5$$

$$j = 1, 2, 3$$

Donde:

$Y_{ij}$  = corresponde a la variable aleatoria observable

$\mu$  = media poblacional

$\alpha_i$  = efecto del “i-esimo” tratamiento

$\varepsilon_{ij}$  = error experimental

Supuestos:

- El modelo es correcto y aditivo en relación al material experimental.
- $\varepsilon_{ij} = \text{VsAsIsID} \sim N(0; \sigma^2\varepsilon_a)$
- No existe interacción entre tratamientos

### 3.2.2 Hipótesis

Hipótesis estadísticas

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$

$H_a$ : al menos una media es diferente

Hipótesis agronómicas

$H_0$ : No existen diferencias entre los manejos de fertilización nitrogenada evaluados.

$H_a$ : Al menos uno de las tecnologías de fertilización provoca una respuesta diferencial en el cultivo.

### 3.3 MANEJO DEL CULTIVO

#### 3.3.1 Siembra

##### 3.3.1.1 Ensayos Cinco Sauces (Tacuarembó)

La siembra se realizó el 19 de octubre de 2011, con una densidad de 160 kg de semilla/ha del cultivar INIA Olimar, en siembra directa sobre taipas, como cabeza de rotación sobre un rastrojo de raigrás pastoreado, donde el antecesor fue un cultivo de sorgo varios años atrás.

El suelo sobre el cual fueron instalados los ensayos corresponde a un Planosol, perteneciente a la unidad de suelos Río Tacuarembó.

Cuadro no.1 Análisis de suelo Cinco Sauces (Tacuarembó)

<b>pH</b>	<b>C. Org</b>	<b>P Cítrico</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>K</b>	<b>Na</b>	<b>Fe</b>
H2O	%	µg p/g	Meq/100g	meq/100g	meq/100g	Meq/100g	meq/100g
4,6	1,07	9,2	0,5	0,9	0,11	0,09	152,8

La fertilización a la siembra se realizó en base a datos de análisis de suelo e historia de chacra a modo de guía, sin considerar niveles críticos. Se agregaron 165kg/ha de 19(N)-19(P)-19(K) con el objetivo de mejorar la disponibilidad de nutrientes para el desarrollo del cultivo.

##### 3.3.1.2 Ensayos Paso Farias (Artigas)

La siembra fue realizada el 3 de noviembre de 2011, donde se utilizó una densidad de 160 kg de semilla/ha del cultivar INIA Olimar, en siembra directa sobre taipas, teniendo como antecesor un verdeo de raigrás para pastoreo. Los ensayos constituyeron el primer cultivo de la rotación luego de una serie de varios años de pradera.

El suelo de las parcelas experimentales corresponde a un Vertisol perteneciente a la unidad de suelos Itapebi -Tres Árboles

Cuadro no.2 Análisis de suelo Paso Farias (Artigas)

<b>pH</b>	<b>C. Org</b>	<b>P Cítrico</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>K</b>	<b>Na</b>	<b>Fe</b>
H2O	%	µg p/g	Meq/100g	meq/100g	meq/100g	Meq/100g	meq/100g
6,2	5,15	11,9	31,4	18,2	0,28	0,34	64,2

El criterio de fertilización utilizado fue similar al de Cinco Sauces, con la salvedad de que en este caso se aplicaron 100kg/ha de 18(N)-46(P)-0(K).

### 3.3.2 Sistematización

La preparación del suelo en ambas localidades consto de un laboreo de verano, con posterior siembra de raigrás (*Lolium multiflorum*) para pastoreo y sistematización previa a la siembra del raigrás.

Se realizaron ocho ensayos en total, cuatro con intervalo vertical de 8cm. entre taipas (dos en Paso Farias y dos en Cinco Sauces), de los cuales los dos ensayos ubicados en Cinco Sauces debieron ser eliminados por problemas fitosanitarios. Mientras que los restantes cuatro ensayos (dos en cada localidad) se realizaron con un intervalo vertical de 4cm. entre taipas

Los diferentes intervalos verticales utilizados llevaron a que los sistemas de 4 cm entre taipa contuvieran aproximadamente el doble de taipas que los sistemas convencionales, de acuerdo a que la pendiente del terreno fue similar en ambas situaciones, determinando dos ambientes contrastantes.

En ambos casos se utilizaron taipas de tipo moderno, bajas, de base ancha y con desgotes poco profundos. Es importante destacar que estas no son las que se utilizan en los sistemas múltiple taipa, en los cuales las taipas son angostas, bajas, casi sin desgotes y con forma de V invertida, por lo cual el sistema evaluado como múltiple taipa es distinto al de reciente incorporación. Los resultados obtenidos en los ensayos con sistematización no convencional no son totalmente extrapolables a los sistemas comerciales que utilizan éste tipo de sistematización, difiriendo principalmente en la productividad de las taipas, de acuerdo a que éstas se encuentran mejor regadas (por su menor tamaño y forma) en los sistemas originales.

### 3.3.3 Fertilización nitrogenada

En las dos localidades se evaluaron las mismas tecnologías de fertilización, tanto en dosis como en forma de fraccionamiento, con la salvedad de la fertilización inicial, la cual fue diferente según la localización del ensayo dependiendo del análisis de suelo.

Como fuente de nitrógeno se utilizó urea (fertilizante amoniacal)  $[CO(NH_2)_2]$  que presenta una concentración de 46% de nitrógeno.

Se evaluaron cinco tecnologías de fertilización, las cuales combinan dosis y forma de fraccionamiento, las cuales consistieron en: 46 unidades de nitrógeno (100kg de urea) aplicados en dos formas de fraccionamiento 50% macollaje - 50% primordio y 100% macollaje; 69 unidades de nitrógeno (150kg de urea) fraccionados en 33% en macollaje-66% primordio floral y 66% macollaje-33% primordio; y un testigo que llevo únicamente la fertilización a la siembra. A cada uno de los diferentes tratamientos se le debe sumar la dosis de nitrógeno agregada a la siembra, la cual es de 28 unidades en Cinco Sauces y 18 unidades en Paso Farias.

Cuadro no.3 unidades de nitrógeno agregadas según tratamiento (Cinco Sauces, Tacuarembó)

Siembra	Macollaje	Primordio	Total
28	0	0	28
28	23	23	74
28	46	0	74
28	23	46	97
28	46	23	97

Cuadro no.4 unidades de nitrógeno agregadas según tratamiento (Paso Farias, Artigas)

Siembra	Macollaje	Primordio	Total
18	0	0	18
18	23	23	64
18	46	0	64
18	23	46	87
18	46	23	87

En los cuadros no. 3 y 4 se presentan las dosis de nitrógeno aplicadas en cada etapa fenológica del cultivo según tratamiento.

En Cinco Sauces, la fertilización de macollaje se realizo el 17 de noviembre de 2011, mientras que la de primordio floral se llevo a cabo el 2 de enero de 2012. En la localidad de Paso Farias debido al defasaje en las fechas de siembra, la primera se realizo el 2 de diciembre de 2011 y la segunda el 19 de enero de 2012.

### 3.3.4 Manejo del riego

Se utilizaron 2 sistemas de riego: caudal continuo, con inundación a los 45 días posteriores a la siembra, manteniendo una lámina de agua de 5cm como mínimo en forma permanente hasta los 30 días pre cosecha y caudal intermitente durante la etapa vegetativa, pasando a inundación continua en etapa reproductiva. En el caso del riego intermitente la inundación se realizó a los 45 días post siembra al igual que en el continuo, el pasaje de intermitente a continuo se efectuó cuando el cultivo alcanzó la etapa fonológica de primordio floral. El retiro del riego se realizó con el mismo criterio que en sistema de riego continuo.

El sistema de riego intermitente consto de alternancias de períodos con presencia de lámina de agua y períodos de suelo saturado. El criterio de riego para este sistema fue cuando se alcanzaba el estado de barro líquido (ausencia de lámina). El ingreso del agua durante el riego se permitió hasta lograr el llenado de los cuadros.

En Cinco Sauces la inundación para todos los ensayos se estableció el 25 de noviembre de 2011, y el pasaje a riego continuo en los sistemas de riego intermitente se realizó el 18 de enero de 2012.

En Paso Farias la inundación de los experimentos se llevo a cabo el 2 de diciembre de 2011 y el pasaje a continuo de los sistemas de riego intermitente el 1 de febrero de 2012.

### 3.4 DETERMINACIONES

Las mediciones efectuadas durante la estación de crecimiento del cultivo, tendientes a evaluar el efecto de los tratamientos y de las diferentes condiciones de cada experimento, consistieron en:

- Determinaciones de materia seca de planta (parte aérea) en quilogramos, en etapa vegetativa, 15 días luego de la aplicación de de fertilizante nitrogenado en macollaje y previo a la cosecha. En ambos momentos el muestreo de los diferentes tratamientos consistió en 1 corte al ras del suelo de 1 metro lineal de plantas en la hilera seleccionada al azar.
- Mediciones de SPAD (medidor de clorofila, utilizado como herramienta para monitorear el status de nitrógeno del cultivo), en etapa vegetativa y reproductiva, 15 días posteriores a las aplicaciones de urea en macollaje y primordio floral, las mismas consistieron en el muestro de 30 plantas por tratamiento.
- Monitoreo de la evolución de la floración.



- Medición de rendimiento (kg/ha) en grano seco y limpio, el cual consistió en el corte de 5,1m<sup>2</sup> de plantas seleccionado al azar dentro de cada tratamiento. Es importante destacar que en los experimentos con sistematizaciones múltiple taipa el corte incluía cuadro y taipa.
- Cuantificación de componentes de rendimiento ( Panojas /m; granos/panoja y peso de 1000 granos), el muestreo de panojas por m consistió en el conteo de 1 metro lineal en 3 hileras seleccionadas al azar en cada tratamiento, mientras que los de granos/panoja y peso de 1000 granos se realizaron en base a una muestra de 30 panojas por tratamiento.

Los muestreos fueron realizados en todas las repeticiones de cada tratamiento. En los ensayos con sistematización múltiple taipa todas las mediciones a excepción del rendimiento en grano fueron realizadas en cuadro y taipa.

En la localidad de Cinco Sauces (Tacuarembó) las mediciones de materia seca y SPAD en vegetativo se llevaron a cabo el 2 de diciembre, mientras que en Paso Farias (Artigas) se realizaron el día 17 del mismo. Las mediciones de SPAD realizadas en período reproductivo se efectuaron el 17 de enero en Cinco Sauces y el 4 de febrero en Paso Farias. La segunda medición de materia seca de planta se llevo a cabo en el mes de marzo en Tacuarembó y en el mes de febrero en Artigas.

### 3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Todos los resultados obtenidos fueron analizados con el programa Infostat (Di Renzo et al., 2005), trabajando al 5% de significancia. El test de comparación de medias utilizado para detectar poblaciones diferentes fue Fisher al 0,05.

### 3.6 REGISTRO CLIMÁTICO

La información correspondiente a las condiciones climáticas registradas durante el ciclo del cultivo en Tacuarembó se obtuvo de la estación meteorológica INIA Tacuarembó, mientras que la información climática de Artigas se adquirió de la estación meteorológica Davis Ventage de ALUR (ubicada en Bella Unión).

Cabe destacar la limitante que representa la distancia entre las estaciones meteorológicas desde las cuales se obtuvo la información climática y los campos experimentales, pudiendo existir discordancia entre los datos presentados y los valores reales de las precipitaciones ocurridas, sin representar limitantes en las variables temperatura y heliofanía, de acuerdo a la baja variabilidad regional de éstas.

Se analizaron los factores climáticos: temperatura del aire (máxima, media y mínima); precipitaciones y radiación solar, para el período de crecimiento del cultivo en los dos predios experimentales. Con el objetivo de caracterizar las condiciones climáticas que enfrentó el cultivo durante las diferentes etapas de su desarrollo y poder inferir de esta manera los posibles efectos de estas sobre el rendimiento.

Además del análisis individual de los tres factores climáticos mencionados en el párrafo anterior, se realizó la comparación de los mismos con los datos promedio de la serie histórica 1980-2010.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 CONDICIONES CLIMATICAS ZAFRA 2011/12

La presentación de las variables climáticas tiene como objetivo la caracterización de las condiciones ambientales en las cuales se desarrollaron los experimentos (zafra 2011/12). Las temperaturas máximas, medias y mínimas y la heliofanía se presentan como las variables de mayor participación en la definición del rendimiento potencial del cultivo.

#### 4.1.1 Temperaturas

Según Yoshida (1981) las temperaturas mínimas de cada etapa fonológica son: 10°C para germinación; 9 a 16°C para macollaje, 15°C para primordio floral y 15 a 20°C para floración. El mismo autor destaca que las temperaturas óptimas para todo el ciclo del cultivo se ubican entre los 25 y 30°C.

Considerando la importancia de la temperatura durante el período crítico de definición de rendimiento, Yoshida (1981) destaca que temperaturas por encima de 35° C tienen efecto sobre la esterilidad de espiguillas al igual que las temperaturas por debajo de 15° C. Mientras que Deambrosi y Mendez (2007) concluyen que deben existir 3 o más días consecutivos con temperaturas inferiores a 15°C para que se afecte la polinización de las espiguillas, por lo cual se presentan los registros térmicos durante los 12 días pre y post floración de los experimentos de Cinco Sauces y Paso Farias.

Por otra parte Chebataroff y Píriz (1990) concluían que temperaturas medias de 15 a 20° C actuando durante varios días (5 o 6) en los 8 a 12 días antes de floración pueden producir elevados índices de esterilidad.

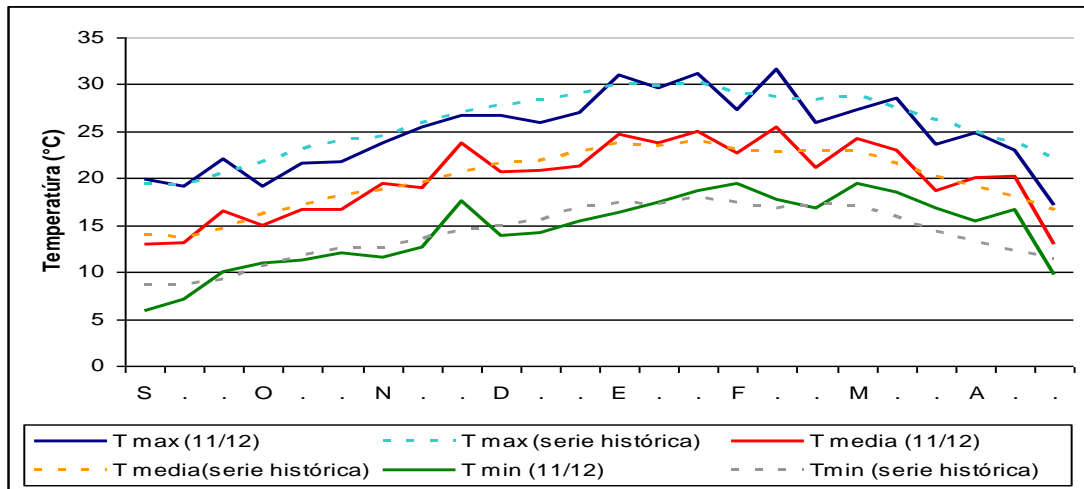


Figura no.1 Temperatura máxima, media y mínima para la zafra 2011/12 en comparación con la serie histórica 1985-2010, Tacuarembó (Fuente: adaptado de la base de datos INIA Tacuarembó<sup>2</sup>)

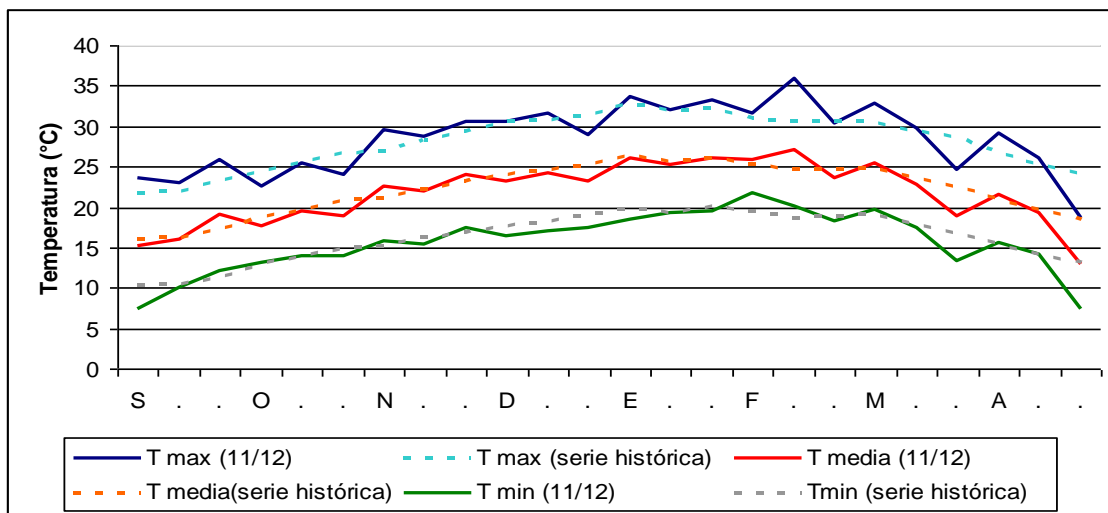


Figura no.2 Temperatura máxima, media y mínima para la zafra 2011/12 en comparación con la serie histórica 1985-2010, Bella Unión (Fuente: adaptado de la base de datos ALUR<sup>3</sup>)

<sup>2</sup> INIA. ESTACION METEOROLOGICA TACUAREMBÓ. 2012. Temperaturas máximas, medias y mínimas de Tacuarembó, en el período 1985-2012. (sin publicar).

<sup>3</sup> ALUR. ESTACION METEOROLOGICA DAVIS VENTAGE. 2012. Temperaturas máximas, medias y mínimas de Bella Unión, en el período 2011-2012. (sin publicar).

Como se puede observar en la figuras 1 y 2, tanto en Tacuarembó como en Artigas las temperaturas no fueron limitantes para el desarrollo del cultivo en la zafra 2011/12 y presentaron un comportamiento muy similar al promedio histórico.

Las temperaturas medias en las dos localidades se ubicaron por debajo del rango óptimo para el desarrollo del cultivo, según los valores reportados por Yoshida (1981).

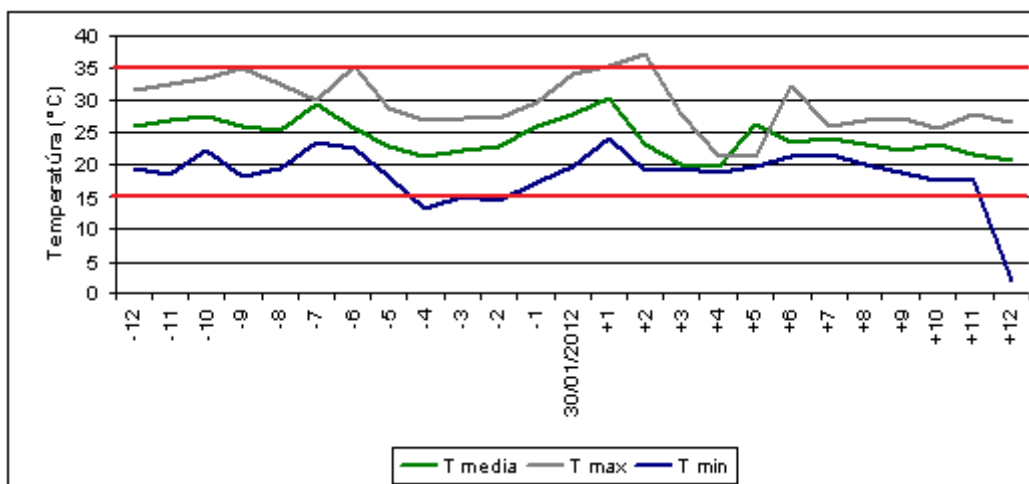


Figura no. 3 Temperaturas máxima, media y mínima 20 días pre y post floración, zafra 2011/12, Tacuarembó (Fuente: adaptado de la base de datos de INIA Tacuarembó<sup>2</sup>)

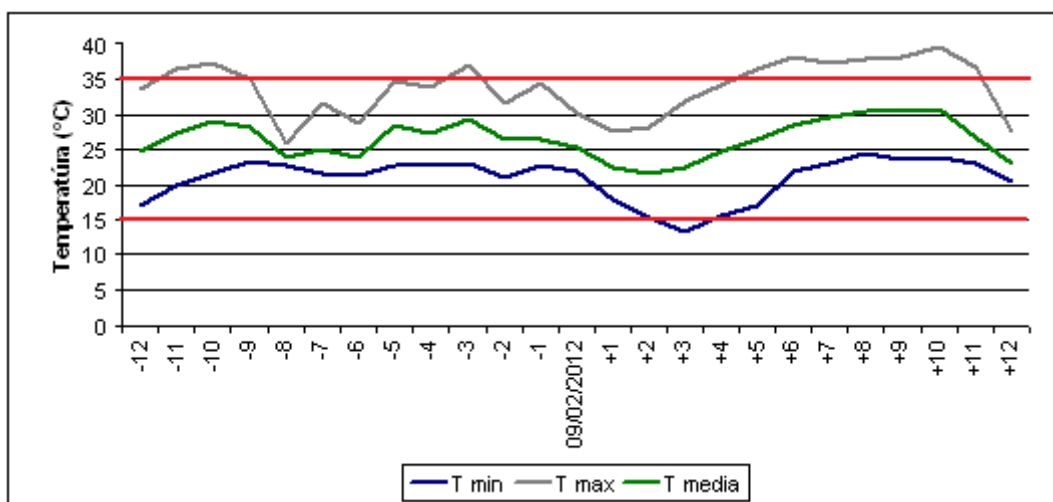


Figura no. 4 Temperaturas máxima, media y mínima 12 días pre y post floración, zafra 2011/12, Bella Unión (Fuente: adaptado de la base de datos de ALUR<sup>3</sup>)

Tanto en los ensayos de Tacuarembó como en los de Artigas las temperaturas medias y mínimas se ubicaron fuera de la zona de riesgo, en la cual se podría ver afectada la polinización.

En Tacuarembó si bien la mínima se ubicó por debajo de los 15°C el día 12 post 50% de floración, la misma no se extendió por más de 1 día. La máxima se ubicó por encima de los 35°C solamente durante un día, por lo cual probablemente no constituyó una limitante.

En Artigas las limitantes podrían estar dadas por la temperatura máxima, la cual se ubicó por encima de los 35°C por nueve días durante el período crítico.

#### 4.1.2 Heliofanía

La radiación solar es un factor determinante en el rendimiento del cultivo. El período de máximo requerimiento de luminosidad se extiende desde la diferenciación de la panoja hasta 10 días antes de madurez fisiológica (Sensel, 1975). Mientras que Munakata, citado por Roel (1998) encontró una fuerte correlación entre el número de granos llenos/m<sup>2</sup> y los valores de radiación en el período que abarca desde 40 días previos a la floración hasta 10 días posteriores a la misma.

A continuación se presentan los datos de radiación solar a los cuales se expuso el cultivo en cada etapa fenológica según localidad. Las fechas de ocurrencia de cada evento fenológico fueron calculadas en base a los requerimientos de suma térmica del cultivar INIA Olimar, para alcanzar los diferentes estadios (Méndez, 2002) y los grados día acumulados desde la emergencia, tomando como temperatura base 10°C.

En Tacuarembó los valores de heliofanía acumulada en décadas se ubicaron por encima de la serie histórica en la mayor parte del ciclo del cultivo, con la excepción de la primera década del mes de febrero. Considerando que en dicho momento el cultivo se encontraba dentro del período crítico de luminosidad, la baja en la radiación interceptada por el cultivo en dicho período podría encontrarse limitando rendimiento final de los ensayos ubicados en Cinco Sauces (ver figura no. 5)

Por otro lado en Artigas los valores de heliofanía se ubicaron por encima de la media histórica durante todo el ciclo del cultivo, por lo cual probablemente la radiación solar no constituyó una limitante en la definición del rendimiento en los ensayos ubicados en Paso Farias (ver figura no. 6)

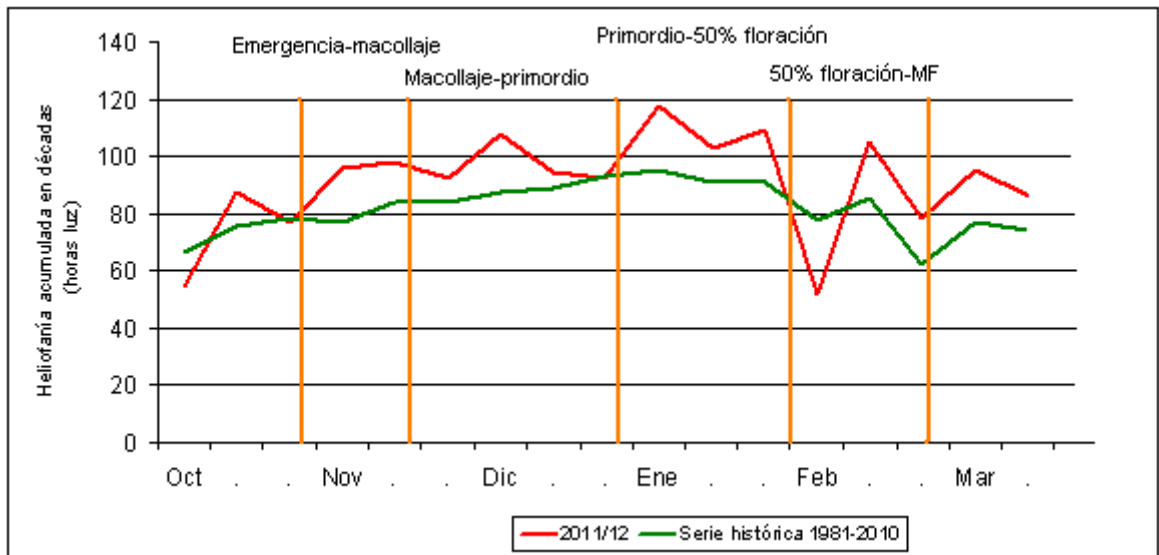


Figura no. 5 Heliofanía acumulada por décadas en horas luz según estado fenológico del cultivo, para los ensayos ubicados en Cinco Sauces, Tacuarembó (Fuente: adaptado de la base de datos INIA Tacuarembó<sup>4</sup>)

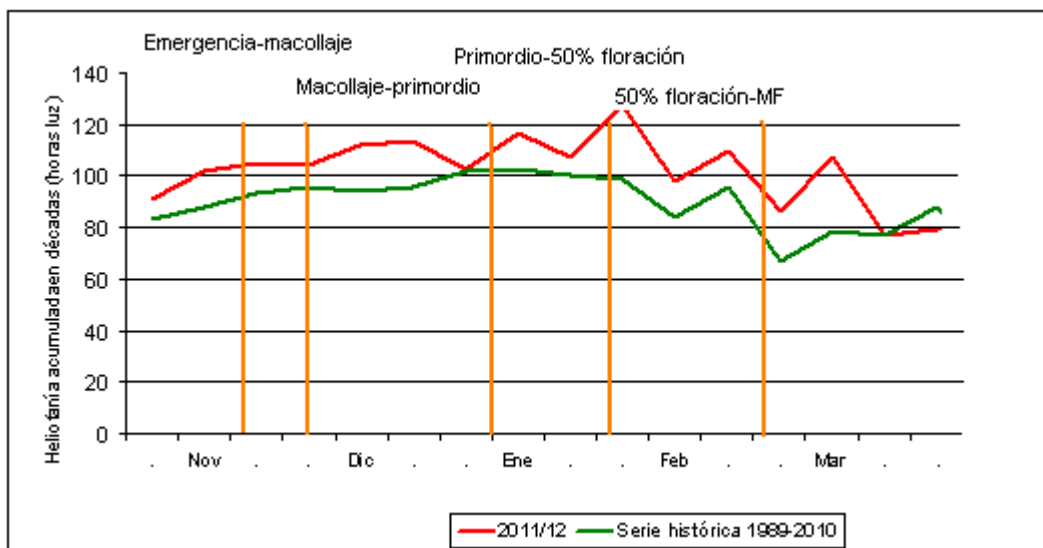


Figura no.6 Heliofanía acumulada por décadas en horas luz según estado fenológico del cultivo, para los ensayos ubicados en Paso Farias, Artigas (Fuente: adaptado de la base de datos de ALUR<sup>5</sup>)

<sup>4</sup> INIA. ESTACION METEOROLOGICA TACUAREMBÓ. 2012. Heliofanía en Tacuarembó, en el período 2011-2012. (sin publicar).

<sup>5</sup> ALUR. ESTACION METEOROLOGICA DAVIS VENTAGE. 2012. Heliofanía en Bella Unión, en el período 2011-2012. (sin publicar).

### 4.1.3 Precipitaciones

Esta variable se presenta con el fin de visualizar el aporte de agua realizado por las precipitaciones en forma adicional al volumen agregado por el riego.

En Tacuarembó las precipitaciones en la zafra 2011/12 se comportaron en forma muy variable, ubicándose en la mayoría de los meses por debajo del promedio histórico, con la salvedad del mes de febrero, en el cual el volumen de precipitaciones ocurridas superó ampliamente la referencia histórica. En dicho mes el 73% del volumen total de lluvias se distribuyó en 5 días con un promedio de 53mm/día.

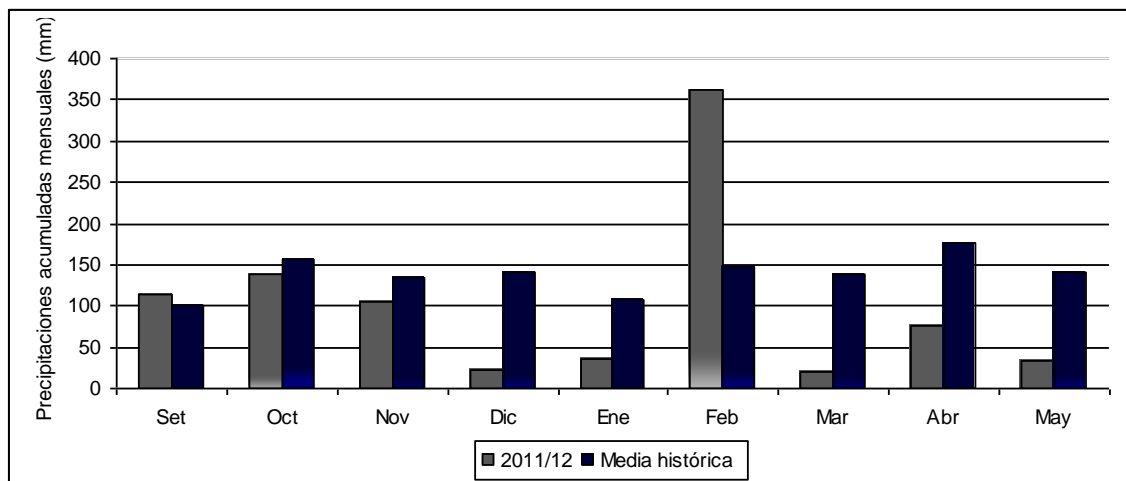


Figura no.7 Régimen de precipitaciones mensuales acumuladas zafra 2011/12 y serie histórica. Tacuarembó (Fuente: adaptado de la base de datos de INIA Tacuarembó<sup>6</sup>)

<sup>6</sup> INIA. ESTACION METEOROLOGICA TACUAREMBÓ. 2012. Precipitaciones en Tacuarembó, en el período 2011-2012. (sin publicar).



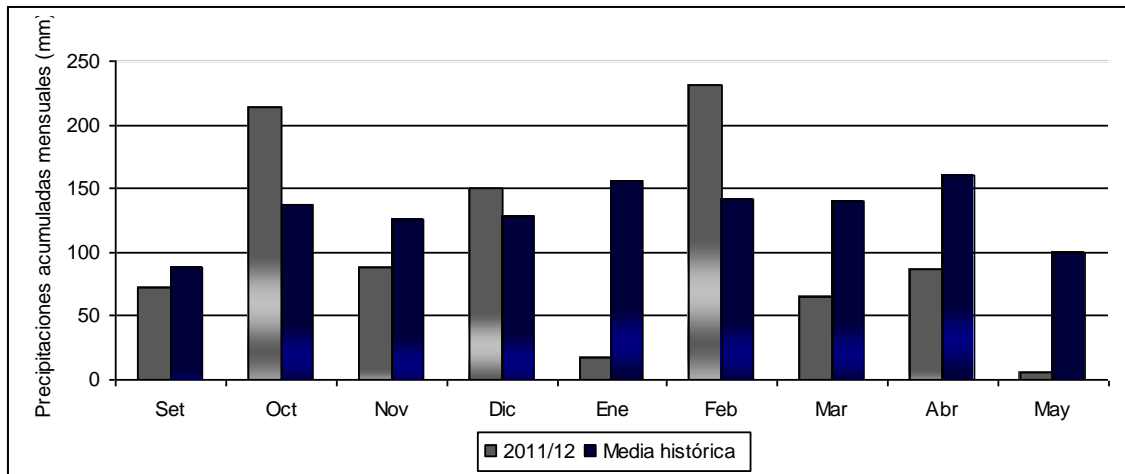


Figura no.8 Precipitaciones acumuladas mensuales zafra 2011/12 y media histórica. Bella Unión, Artigas (Fuente: adaptado de la base de datos de ALUR<sup>7</sup>)

En el departamento de Artigas, las precipitaciones superaron la media histórica en los meses de octubre y febrero, en el primero el 65% del volumen total de precipitaciones se distribuyó en 3 días con un promedio de 46mm/día, mientras que en el segundo el 47% del volumen total de precipitaciones ocurrió en un solo día.

<sup>7</sup> ALUR. ESTACION METEOROLOGICA DAVIS VENTAGE. 2012. Precipitaciones en Bella Unión, en el período 2011-2012. (sin publicar).

## 4.2 RESPUESTA EN RENDIMIENTO

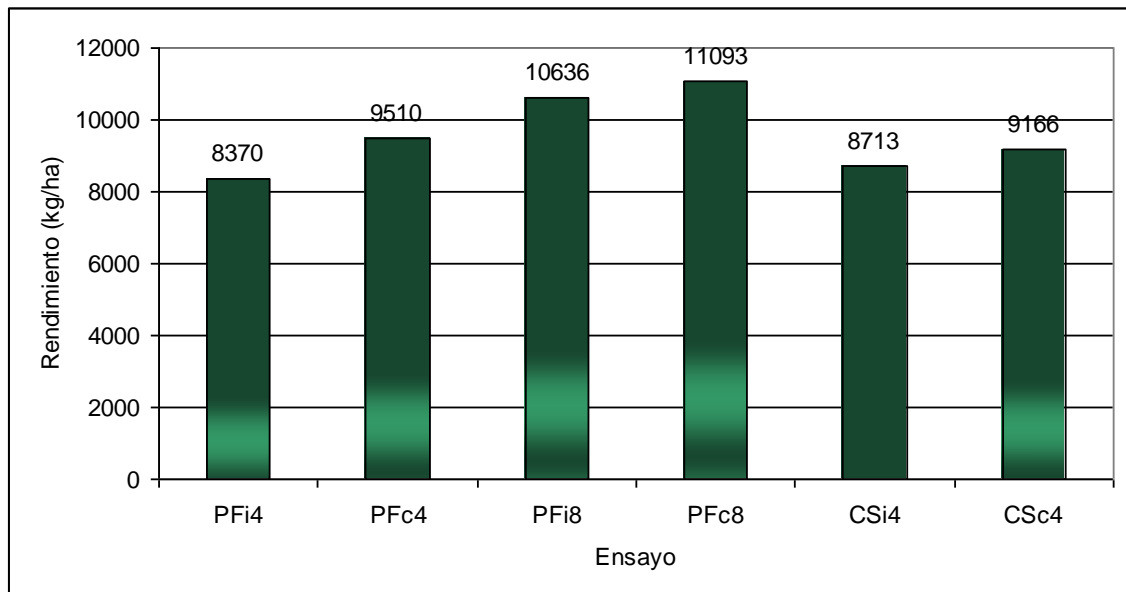


Figura no.9 Rendimiento promedio en grano seco y limpio según ensayo.

### Referencias:

PFi8 = Paso Farias, riego intermitente, intervalo vertical de 8cm

PFi4 = Paso Farias, riego intermitente, intervalo vertical de 4cm

CSi4 = Cinco Sauces, riego intermitente, intervalo vertical de 4cm

PFc8 = Paso Farias, riego continuo, intervalo vertical de 8cm

PFc4 = Paso Farias, riego continuo, intervalo vertical de 4cm

CSc4 = Cinco Sauces, riego continuo, intervalo vertical de 4cm

Si bien los diferentes ensayos no son comparables estadísticamente, la media de rendimiento de todos los experimentos evaluados en el presente trabajo se ubican por encima de las 8tt/ha.

En ambos ambientes la heliofanía registrada en la zafra 2011/12 supero el promedio histórico, por lo cual las condiciones de luminosidad fueron buenas de acuerdo a la localización de los ensayos. En Paso Farias la oferta de luz supero la registrada en Cinco Sauces, lo cual determinó diferencias en las condiciones a las cuales se expuso el cultivo durante su desarrollo. Respecto a la temperatura, no existieron limitantes térmicas (temperaturas inferiores a 15°C por mas de 3 días durante el período crítico) en ninguno de los ambientes en estudio.

Las diferencias en nivel de rendimiento entre los experimentos con sistematización convencional y los de múltiple taipa probablemente sean adjudicables al efecto de las taipas. En los ensayos con intervalo vertical de 4cm, la medición de rendimiento consideró la productividad de las taipas, conforme a la mayor importancia relativa de éstas en el sistema, mientras que en el ensayo con sistematización convencional únicamente se tuvo en cuenta la productividad de los cuadros.

En cuanto al sistema de riego, a grandes rasgos los ensayos con riego continuo presentaron mayores niveles de rendimiento respecto a los de riego intermitente. Las diferencias más importantes entre ambos sistemas de riego se presentan en los ensayos con sistematizaciones de 4cm entre taipas.

#### 4.2.1 Respuesta a las tecnologías de fertilización en los ensayos bajo riego intermitente

Cuadro no.5 Resumen estadístico ensayos bajo riego intermitente

Ambiente	I.V (cm)	Media (Rend.)	C.V	p-valor
PF	8	10636	4,8	0,0139
	4	8370	7,1	ns*
CS	4	8723	7,7	ns*

\* p-valor > 0,05

El cuadro no.5 muestra un resumen de la respuesta en rendimiento de los ensayos bajo caudal intermitente hasta primordio a los tratamientos de fertilización nitrogenada (ver cuadros de ANAVA en anexo 1).

El manejo del riego tiene implicancias directas sobre el potencial de pérdidas de nitrógeno en el cultivo de arroz (De Datta, 1986). Bouman y Toung (2000) adjudican la mayor variabilidad en rendimientos obtenidos bajo riego intermitente a los procesos de pérdida de nitrógeno asociados a nitrificación y denitrificación cuando el suelo comienza a oxigenarse, producto del descenso de la lámina de agua luego del riego.

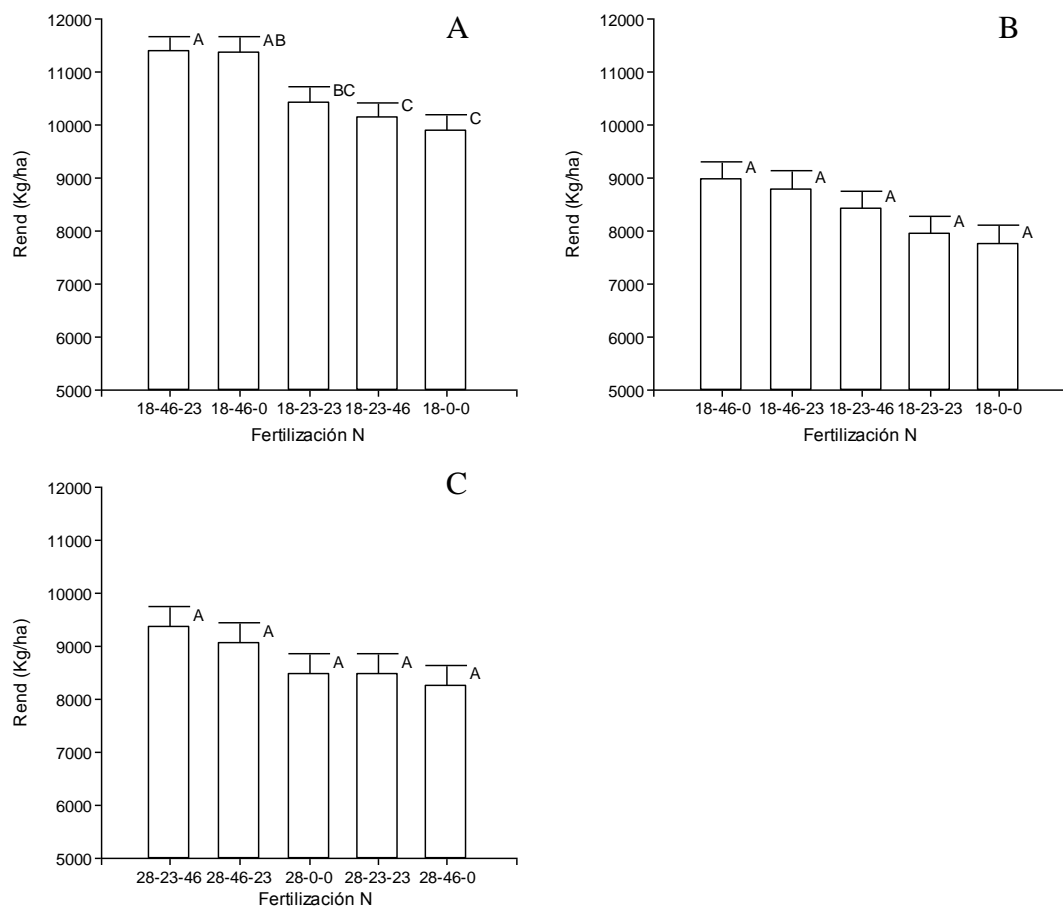


Figura no. 10 Rendimiento en grano según tratamiento, de los ensayos con riego intermitente.

A ensayo ubicado en Paso Farias con intervalo vertical de 8cm.

B ensayo ubicado en Paso Farias con intervalo vertical de 4cm.

C ensayo ubicado en Cinco Sauces con intervalo vertical de 4cm.

Cuadro no. 6 Rendimiento según tratamiento de fertilización nitrogenada de los ensayos con riego intermitente.

Tratamientos	Paso Farias		Cinco Sauces			
	IV 8cm		IV 4cm			
<b>18-0-0</b>	9883	c	7757	b	8472	A
<b>18-23-23</b>	10430	bc	7935	ab	8465	A
<b>18-23-46</b>	10130	c	8403	ab	9373	A
<b>18-46-0</b>	11356	ab	8972	a	8244	A
<b>18-46-23</b>	11380	a	8787	ab	9065	A

Como se puede observar en las figuras no.10 A y B, y en el cuadro no. 6 en los ensayos bajo riego intermitente ubicados en Paso Farias la tendencia general muestra que el rendimiento en grano de cada tratamiento se posicionó en función de la dosis de nitrógeno agregada en macollaje. Las diferencias en valores absolutos probablemente se encuentren determinadas por el efecto de las taipas en el ensayo con intervalo vertical de 4cm, las cuales estuvieron sujetas a condiciones hídricas más restrictivas.

El ensayo con intervalo vertical de 8cm (figura no.10 A y cuadro no.6) presentó una respuesta asociada a la dosis de nitrógeno agregado en macollaje, independientemente del agregado en primordio floral y de la dosis total. Los tratamientos con dosis de 46 unidades en macollaje presentaron un nivel de rendimiento estadísticamente superior al testigo, mientras que la magnitud de las diferencias entre el rendimiento de éste último y los tratamientos que agregaron 23 unidades de nitrógeno en macollaje no alcanzaron la diferencia mínima significativa para ser considerados distintos estadísticamente.

Para el caso particular del ensayo analizado en el párrafo anterior el agregado de 23 unidades de nitrógeno en la etapa de generación del rendimiento no fue suficiente para determinar un aumento en el nivel de producción. Probablemente dicha respuesta este sujeta a la ocurrencia de proceso de pérdida de nitrógeno, predispuestos por el tipo de sistema de riego (intermitente) efectuado hasta primordio floral, que impidieron al cultivo absorber suficiente cantidad del nutriente como para evidenciar respuesta.

Los ensayos con intervalo vertical de 4cm entre taipa y riego intermitente (figuras no. 10 B y C y cuadro no. 6) presentaron un comportamiento similar en los dos sitios en los cuales se llevaron a cabo, no mostraron respuesta a la fertilización nitrogenada. Contrariamente la tendencia general observada en cada uno de ellos fue distinta. En el ensayo de Cinco Sauces, los tratamientos que llevaron mayor dosis total de nitrógeno (92 unidades), fueron los que presentaron mayor nivel de rendimiento, mientras que los que llevaron 74 unidades presentaron rendimientos muy similares al testigo (28 unidades), por otro lado en Paso Farias la tendencia estuvo determinada por la dosis de N a macollaje.

Teniendo en cuenta la restricción hídrica a la cual se exponen las taipas en los sistemas de riego intermitente y la consideración de las mismas en la medición del rendimiento en los sistemas con intervalo vertical de 4cm, probablemente la ausencia de respuesta a los tratamientos de fertilización nitrogenada se encuentre sujeta a que el factor más limitante en estos sistemas fue el riego y no el nitrógeno.

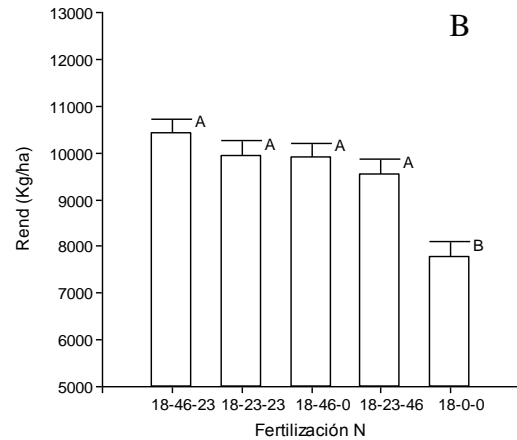
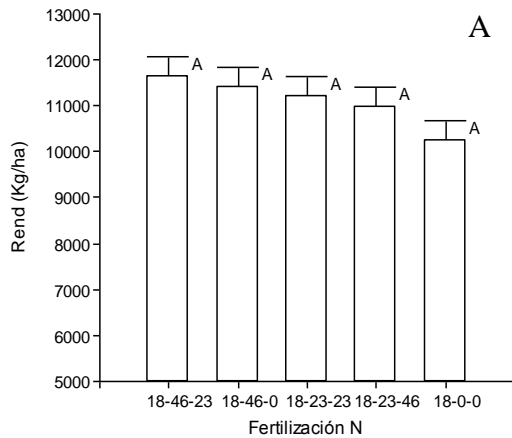
#### 4.2.2 Respuesta a las tecnologías de fertilización en los ensayos bajo riego continuo

Cuadro no.7 Resumen estadístico ensayos bajo riego continuo

Ambiente	I.V (cm)	Media (Rend.)	C.V	p-valor
PF	8	11093	6,8	ns*
	4	9510	5,7	0,0013
CS	4	9166	8,2	0,0251

\* p-valor > 0,05

Como se puede observar en el cuadro no. 7, los ensayos bajo riego continuo y sistematización múltiple taipa (intervalo vertical de 4cm) tanto en Paso Farias como en Cinco Sauces presentaron respuesta significativa al agregado de nitrógeno. Contrariamente el ensayo de Paso Farias con sistematización convencional (intervalo vertical de 8cm entre taipas) no evidenció diferencias significativas entre tratamientos (ver cuadros de ANAVA en anexo 1).



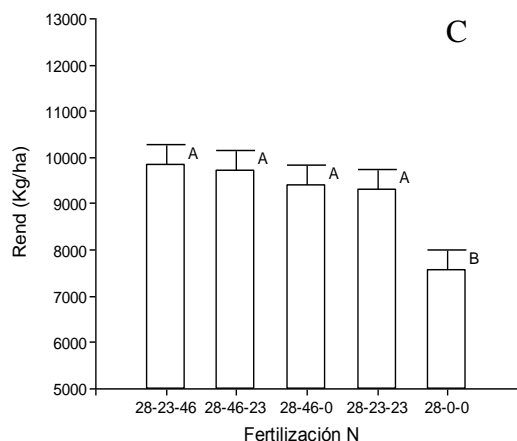


Figura no.11 Rendimiento en grano según tratamiento de los ensayos con riego continuo.

A ensayo ubicado en Paso Farias con intervalo vertical de 8cm entre taipas.

B ensayo ubicado en Paso Farias con intervalo vertical de 4cm entre taipas.

C ubicado en Cinco Sauces con intervalo vertical de 4cm entre taipas.

Cuadro no.8 Rendimiento según tratamiento de fertilización nitrogenada de los ensayos con riego continuo.

Tratamientos	Paso Farias		Cinco Sauces			
	IV 8cm		IV 4cm			
18-0-0	10253	a	7774	b	7575	b
18-23-23	11205	a	9935	a	9296	a
18-23-46	10977	a	9545	a	9844	a
18-46-0	11409	a	9886	a	9402	a
18-46-23	11625	a	10411	a	9714	a

Como lo muestra la figura no. 11 A y en el cuadro no. 8 el ensayo con sistematización convencional y riego continuo ubicado en Paso Farias, no evidencio respuesta a los tratamientos. Considerando el elevado nivel de rendimiento que alcanzo éste ensayo, probablemente la relación entre mineralización de nitrógeno nativo y perdidas de nitrógeno fue positiva y de una magnitud capaz de satisfacer la demanda del cultivo, determinando la ausencia de respuesta a la fertilización.

Contrariamente los experimentos con intervalo vertical de 4cm entre taipas tanto en Paso Farias como en Cinco Sauces (figuras no. 11 B y C y en el cuadro no. 8), presentaron respuesta al agregado de nitrógeno por encima de las 18 unidades basales. Las diferencias significativas se dieron únicamente con el testigo. No existió respuesta a

las dosis ni a las formas de fraccionamiento que combinaron las tecnologías de fertilización.

La existencia de respuesta al agregado de nitrógeno en los experimentos con intervalo vertical de 4cm entre taipas, es atribuible a que probablemente las condiciones hídricas imperantes en las taipas establecieron mayores pérdidas de nitrógeno, determinando que el cultivo evidencie respuesta al agregado de fertilizante.

Sintetizando, en la mayoría de los ensayos no existieron diferencias significativas entre las tecnologías de fertilización, evidenciando la ausencia de respuesta al fraccionamiento y al agregado de dosis superiores a las 46 unidades de nitrógeno en etapas fonológicas posteriores a la siembra.

Respecto al fraccionamiento del nitrógeno, De Datta et al. (1969), destacan que no existen ventajas en aplicar el nitrógeno en forma fraccionada, si el suelo es de alta fertilidad y se utilizan variedades resistentes al vuelco. Pero la partición de la fertilización en momentos claves como macollaje y primordio floral se justifica en sistemas sujetos a elevados niveles de perdidas de nitrógeno, como los de riego intermitente, de acuerdo a que aumentan la eficiencia en el uso del fertilizante.

En líneas generales para todos los ensayos, la ausencia de un testigo sin agregado de nitrógeno, no permite saber si la adición de fertilizante basal tuvo inferencia sobre la capacidad de aporte de nitrógeno del suelo, o el comportamiento del mismo hubiese sido similar en ausencia del agregado a la siembra. El efecto priming que el agregado de nitrógeno puede causar sobre el suelo, aumentando su capacidad de aporte al cultivo fue reportado en Uruguay por Castillo et al. (2011) quienes encontraron un incremento en la disponibilidad de nitrógeno nativo por el agregado de fertilizante nitrogenado en ensayos realizados en la localidad de India Muerta (departamento de Rocha).



#### 4.2.3 Eficiencia de uso del nitrógeno

Cuadro no. 9 Eficiencia de uso del nitrógeno y rendimiento potencial según ensayo.

Localidad	Tipo de riego	IV	P-valor	EUN	Rendimiento potencial
Paso Farias	Continuo	4cm	0,0013	38	10410
		8cm	ns*	20	11624
	Intermitente	4cm	ns*	26	8971
		8cm	0,0139	22	11380
Cinco Sauces	Continuo	4cm	0,0251	33	9844
	Intermitente	4cm	ns*	13	9373

Como se puede apreciar en el cuadro no. 9 los sistemas con intervalo vertical de 8cm entre taipas fueron los que concretaron los mayores rendimientos potenciales tanto con riego continuo como intermitente, y tuvieron eficiencias de uso de nitrógeno relativamente bajas.

La combinación de riego continuo durante todo el ciclo del cultivo y sistematización múltiple taipa (intervalo vertical de 4cm entre taipas) determinó los mayores aumentos en rendimiento por unidad de nitrógeno agregado (33 y 38 kg de arroz/kg de N). Mientras que los sistemas múltiple taipa en combinación con riego intermitente presentaron un comportamiento diferente en cuanto a eficiencia de uso de nitrógeno dependiendo de la localización del ensayo. En Cinco Sauces probablemente la mayor rigurosidad de la intermitencia en el riego (por mayor pendiente del terreno) fue quien determinó que existieran mayores pérdidas de nitrógeno, impidiendo que éste sea tomado por las plantas.

Como era de esperarse en la mayoría de los casos los ensayos que presentaron mayor eficiencia en el uso del nitrógeno fueron quienes evidenciaron diferencias significativas entre tratamientos, con la excepción del experimento ubicado en Paso Farias, con sistematización múltiple taipa y riego intermitente, el cual presentó una EUN de 26 kg de arroz por kilogramo de nitrógeno agregado, pero las diferencias entre tratamientos no alcanzaron a ser distintas estadísticamente.

#### 4.2.4. Estudio de la conveniencia de fertilizar con nitrógeno en etapas posteriores a la siembra, según tipo de riego y sistematización de chacra

En esta sección se presenta un análisis por contrastes ortogonales de la conveniencia del agregado de fertilizante nitrogenado en etapas posteriores a la siembra, considerando en forma conjunta los tratamientos con agregado de nitrógeno en comparación con el testigo sin agregado.

Hipótesis:

$$(t1) = (t2+t3+t4+t5)$$

$$H_0 = 1/1 (\& 1) = 1/4(\&2+\&3+\&4+\&5)$$

$$H_a = 1/1 (\& 1) \neq 1/4(\&2+\&3+\&4+\&5)$$

$$H_0 = 4\&1 - 1\&2 - 1\&3 - 1\&4 - 1\&5 = 0$$

Cuadro no. 10 Contrastes ortogonales entre tratamientos con y sin agregado de nitrógeno en etapas posteriores a la siembra.

Localidad	Tipo de riego	IV	P-valor	Diferencia
Paso Farias	Continuo	4cm	0,01	-1461
		8cm	0,032	-1463
	Intermitente	4cm	0,074	ns
		8cm	0,018	-940
Cinco	Continuo	4cm	0,049	-1660
Sauces	Intermitente	4cm	0,786	ns

Como se aprecia en el cuadro no. 10 la fertilización en estadios posteriores a la siembra determinó diferencias significativas en rendimiento únicamente en cuatro de los seis ensayos evaluados, mostrando aumentos en el rendimiento por el agregado de nitrógeno.

Los ensayos con riego continuo mostraron aumentos significativos en el rendimiento independientemente del la sistematización de chacra y del ambiente en el cual fueron evaluados. En Paso Farias, el ensayo con riego intermitente e intervalo vertical 8 cm también mostró aumentos en rendimiento asociadas a la fertilización en etapas posteriores a la siembra, pero de menor magnitud.

En los ensayos con riego intermitente y sistematización múltiple taipa no existieron aumentos significativos en el rendimiento por el agregado de nitrógeno luego de la siembra.

En el ensayo ubicado en Paso Farias con sistematización convencional y riego continuo, si bien no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos mediante el análisis de varianza, el estudio de contrastes evidencio que respuesta significativa al agregado de nitrógeno en etapas posteriores a la siembra.

Realizando un análisis económico de los resultados obtenidos, y considerando los precios de mercado actuales (Arroz a U\$S240/tt y Urea a U\$S525/tt), en el 50% de los ensayos evaluados se pierden como mínimo 240 dólares de ingreso bruto por hectárea por no agregar nitrógeno en etapas posteriores a la siembra.

#### 4.3 RESPUESTA DE LAS VARIABLES ASOCIADAS AL RENDIMIENTOS A LAS TECNOLOGIAS DE FERTILIZACION EVALUADAS

En ésta sección se presenta un análisis del efecto de las tecnologías de fertilización evaluadas en cada una de las variables que determinan el rendimiento.

##### 4.3.1 Componentes del rendimiento

Antes de presentar la respuesta en componentes de rendimiento a las diferentes tecnologías de fertilización, es importante destacar que el cultivar en evaluación presenta como características varietales 553 panojas/m<sup>2</sup> y 82 granos/panoja con un peso promedio de 1000 grano de 26,8g.

Quintero (2009), encontró que el componente más importante en la definición del rendimiento es el número de panojas/m<sup>2</sup>. Lógicamente a medida que hubo mas panojas, mayor fue el número de espiguillas/m<sup>2</sup> y por lo tanto mayor el rendimiento.

Cuadro no. 11 Resumen del análisis estadístico de los componentes de rendimiento panojas/m y granos/panoja

Ambiente	Panojas/m		Granos/panoja	
	C.V	p-valor	C.V	p-valor
CSi4	12,6	ns*	21,8	ns*
CSc4	11,4	ns*	21,3	ns*
CSti4	9,5	ns*	21,5	ns*
CStc4	5,7	ns*	15,6	ns*
PFi8	10,8	ns*	11,5	ns*
PFc8	15,5	ns*	17,4	ns*
PFi4	16,6	ns*	27,2	ns*
PFc4	18,8	ns*	10,3	ns*
PFti4	17	ns*	25,6	ns*
PFtc4	19,2	ns*	19,2	ns*

\* p-valor > 0,05

De acuerdo a lo mencionado en la literatura, el nitrógeno actúa como regulador de crecimiento en la planta de arroz, por su acción a nivel de promoción del macollaje, aumento en el tamaño de las hojas, en el número de granos por panícula y en el tamaño y contenido de proteína de los granos.

Podrían existir dos efectos contrastantes sobre los componentes de rendimiento por el agregado de nitrógeno dependiendo de la dosis y la forma de fraccionamiento. Uno es el aumento en el número de panojas por metro concomitantemente con el

aumento en la dosis de fertilizante, hasta determinado nivel, mientras que el otro efecto actúa en forma contrastante, provocando una disminución en dicho componente cuando el agregado de nitrógeno es demasiado elevado, generando un excesivo crecimiento vegetativo, sombreado y disminución en la fertilidad de los macollos.

Como se observa en el cuadro no. 11 ninguno de los ensayos evaluados presento diferencias significativas entre los tratamientos para las variables en cuestión (ver cuadros de ANAVA en anexo 2).

Resultados similares fueron reportados por García (1992) y por Rodriguez et al. (2002) quienes no encontraron efecto del agregado de nitrógeno en el número de granos por panoja.

Es importante considerar los elevados coeficientes de variación que presentaron estas variables, los cuales determinan que las diferencias entre tratamientos deban ser muy elevadas para ser detectadas como significativas.

Tanto la variable panojas por metro como granos por panoja se comportaron como poco sensibles a las tecnologías de fertilización.

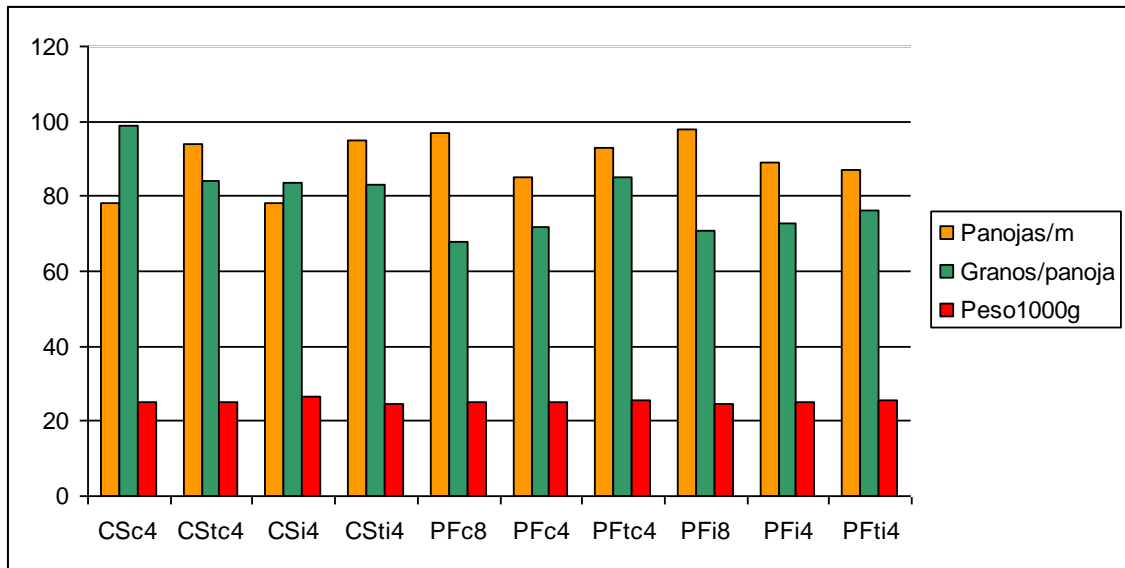


Figura no.12 Componentes de rendimiento (promedio) según ensayo.

Referencias:

- CSi4 = Cinco Sauces, riego intermitente, intervalo vertical de 4cm
- CSc4 = Cinco Sauces, riego continuo, intervalo vertical de 4cm
- CSti4= Cinco Sauces, taipa, riego intermitente, intervalo vertical de 4cm
- CStc4= Cinco Sauces, taipa, riego continuo, intervalo vertical de 4cm
- PFi8 = Paso Farias, riego intermitente, intervalo vertical de 8cm
- PFc8 = Paso Farias, riego continuo, intervalo vertical de 8cm
- PFi4 = Paso Farias, riego intermitente, intervalo vertical de 4cm
- PFc4 = Paso Farias, riego continuo, intervalo vertical de 4cm
- PFti4 = Paso Farias, taipa, riego intermitente, intervalo vertical de 4cm
- PFtc4 = Paso Farias, taipa, riego continuo, intervalo vertical de 4cm

Los resultados presentados en la figura no. 12 no son estadísticamente comparables entre si, pero se utilizan para observar las tendencias de cada variable bajo las combinaciones de los factores: ambiente, tipo de riego e intervalo entre taipas.

En Cinco Sauces los ensayos bajo sistematización de 4cm entre taipas, el número promedio de panojas por metro lineal fue relativamente bajo (solamente las taipas superan las 80 panojas/m) y el número de granos/panoja se ubico por encima de los promedios de Paso Farias. En las taipas de dichos ensayos, la tendencia fue a un mayor número de panojas por metro respecto a los cuadros.

Se evidenció una clara compensación en número de granos por panoja dependiendo de la densidad de macollos fértiles por metro lineal. Ambientes que promocionaron un alto número de panojas deprimieron el número de granos, producto de la competencia entre macollos fértiles.

En los ensayos con intervalo vertical de 4cm entre taipas, en Cinco Sauces, no existen diferencias importantes en la densidad de panojas dependiendo del sistema de riego, pero si se evidenciaron diferencias en el número de granos por panoja, donde el riego continuo supera al intermitente. Dicho factor es el que explica las diferencias en los rendimientos promedio obtenidos en cada ensayo.

En Paso Farías, los experimentos con sistematización convencional no mostraron diferencias importantes en componentes de rendimiento entre riego continuo e intermitente, comportamiento similar al observado en los cuadros de los ensayos en sistematización múltiple taipa.

En las taipas de los ensayos con intervalo vertical de 4cm, en Paso Farias, el sistema de riego continuo supera al intermitente tanto en números de panojas por metro como en número de granos por panoja, lo cual explica el mayor rendimiento promedio (cuadro + taipa) obtenido en los ensayos con riego continuo en comparación con los de riego intermitente.

Respecto al peso de mil granos, no se evidencian grandes diferencias entre ensayos, ni entre tratamientos en cada ensayo (datos no presentados). Esto concuerda con lo reportado por García (1992), Rodríguez et al. (2002), quienes definen el peso de mil granos como una característica varietal poco modificable por prácticas agronómicas.

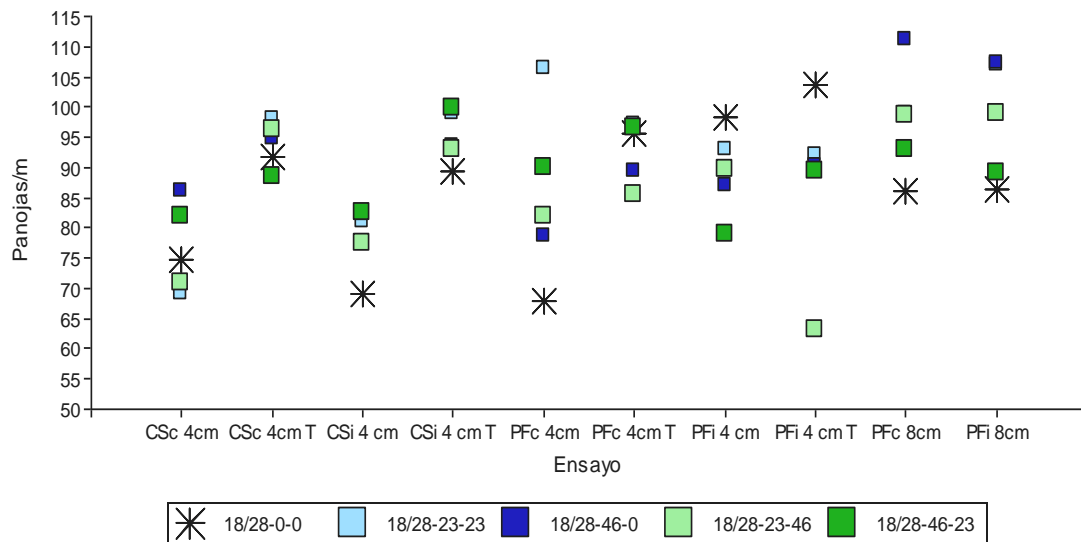


Figura no.13 Panojas por metro, según tratamiento para cada ensayo.

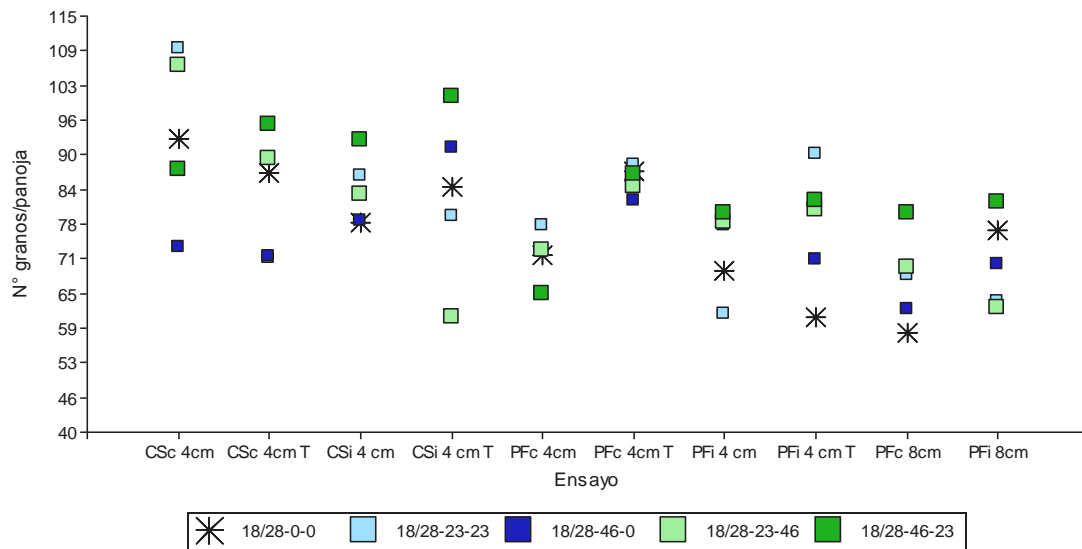


Figura no.14 Granos por panoja según tratamiento para cada ensayo.

Como se observa en la figura no.13, si bien no existieron diferencias significativas entre tratamientos en ninguno de los ensayos, el agregado de nitrógeno por encima de la dosis basal, tendió a mostrar respuesta positiva en número de panojas por metro. Con la excepción del ensayo de Paso Farias bajo riego intermitente y sistematización múltiple taipa, en el cual se observó un comportamiento contrastante, donde las mayores dosis de nitrógeno deprimieron el número de panojas por metro. Mientras que la forma de fraccionamiento de la dosis no mostró tendencias de respuesta claras.

El número de granos por panoja (figura no.14) presentó respuestas muy variables y no se ajustó a ningún patrón.

Si se observa el comportamiento de ambas variables en conjunto, se puede apreciar claramente la plasticidad del cultivo en la modificación del número de granos por panoja dependiendo de la densidad de macollos fértiles. Esto constituye una respuesta lógica, debido a que frente a recursos escasos el arroz presenta un comportamiento compensatorio.

Según Quintero (2009), el arroz es una especie plástica, que puede compensar deficiencias en cantidad de panojas por unidad de superficie, regulando el número de granos por panoja. Esta relación de compensación en el rendimiento puede desarrollarse únicamente dentro de ciertos límites, fuera de los cuales el cultivo no puede compensar o suplir las deficiencias estructurales.

### 4.3.2 Producción de materia seca

#### 4.3.2.1 Materia seca en etapa vegetativa

Hasta primordio los experimentos contaron únicamente con el testigo tecnológico y dos tratamientos con 23 y 46 unidades de nitrógeno agregado en macollaje, los cuales se combinaron con 4 dosis en la fertilización de primordio dando lugar a las 4 tecnologías que se evaluaron.

De acuerdo a lo citado por la literatura el agregado de fertilizantes nitrogenados tiene efectos en: altura de la planta, número de tallos y peso seco de planta.

El agregado de nitrógeno en macollaje se justifica debido a que en ésta etapa fenológica se define el potencial de rendimiento del cultivo a través de la formación de tallos (macollos).

Cuadro no.12 Resumen del análisis estadístico de producción de materia seca de planta en etapa vegetativa según ensayo.

Ambiente	Vegetativo				
	IV (cm)	Continuo		Intermitente	
		C.V	p-valor	C.V	p-valor
CS	4	7,9	0,002	17,5	ns*
CSt	4	24,5	ns*	14,3	0,008
PF	8	10,8	0,003	20,0	0,031
PF	4	14,6	ns*	17,9	ns*
PFt	4	26,4	ns*	17,2	ns*

\* p-valor > 0,05

Como lo muestra el cuadro no.12, en la mayoría de los ensayos no existieron diferencias significativas en producción de materia seca (medida 15 días post aplicación) entre tratamientos de fertilización nitrogenada en macollaje (ver cuadros de ANAVA en anexo 3). Es importante destacar los elevados coeficientes de variación que presento ésta variable en la mayoría de los experimentos, lo cual podría estar explicando la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos en algunos de ellos.

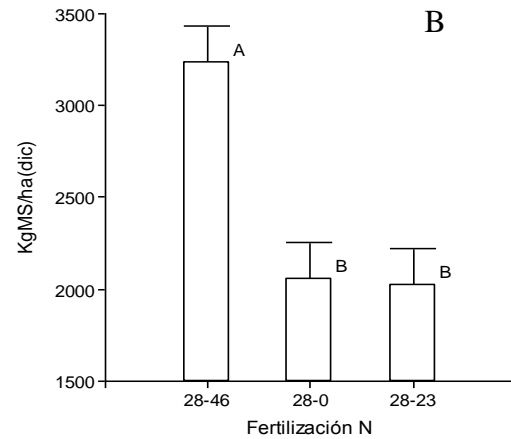
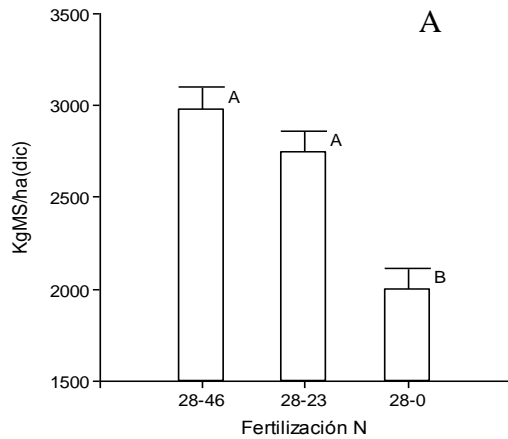


Cuadro no.13 Producción de materia seca en estado vegetativo, ensayos con riego continuo.

Tratamientos	Paso Farias					Cinco Sauces				
	IV 8cm		IV 4cm		IV 4cm taipa	IV 4cm		IV 4cm taipa		
18-0	1303	b	1168	B	1392	a	1999	b	2764	a
18-23	2050	a	1278	ab	1329	a	2744	a	2117	A
18-46	2180	a	1637	A	1889	a	2979	a	2999	a

Cuadro no. 14 Producción de materia seca en estado vegetativo, ensayos con riego intermitente.

Tratamientos	Paso Farias					Cinco Sauces				
	IV 8cm		IV 4cm		IV 4cm taipa	IV 4cm		IV 4cm taipa		
18-0	1691	b	1674	a	1556	A	2587	ab	2058	b
18-23	1827	b	1270	a	1264	A	1882	b	2019	b
18-46	2840	a	1637	a	1680	A	2901	a	3234	a



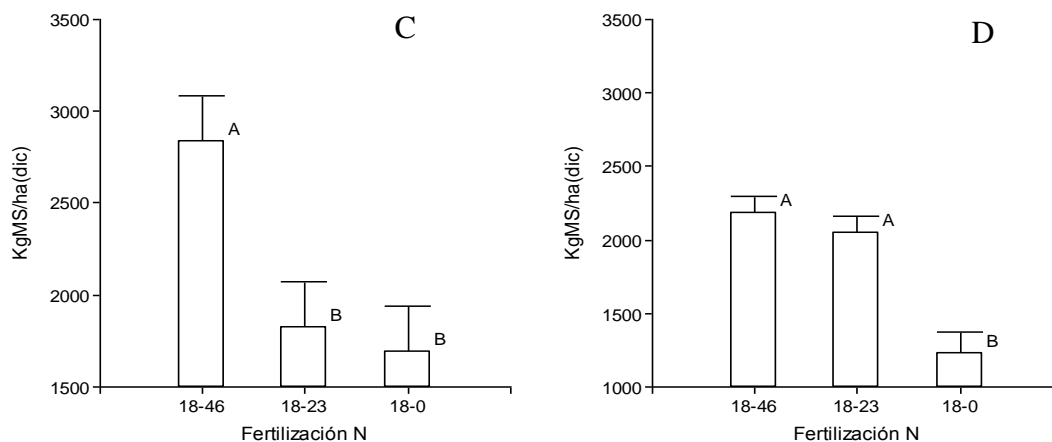


Figura no. 15 Producción de materia seca hasta macollaje.

- A de los cuadros del ensayo ubicado en Cinco Sauces, con riego continuo e intervalo vertical de 4cm entre taipas.
- B de las taipas del ensayo ubicado en Cinco Sauces, con riego intermitente e intervalo vertical de 4cm entre taipas
- C de los cuadros del ensayo ubicado en Paso Farias, con riego intermitente e intervalo vertical de 8cm entre taipas.
- D de los cuadros del ensayo ubicado en Paso Farias, con riego continuo e intervalo vertical de 8cm entre taipas.

Como se puede observar en las figuras no.15 A, B, C y D todos los casos presentaron un patrón de respuesta similar, donde el peso seco de planta se correlacionó en forma positiva con el agregado de nitrógeno a macollaje.

El tratamiento al cual se le suministraron 46 unidades de nitrógeno presento un comportamiento superior en todos los ensayos, diferenciándose estadísticamente del testigo.

En los experimentos de riego intermitente (que mostraron respuesta) los tratamientos que agregaron 23 unidades de nitrógeno en macollaje no se diferenciaron del testigo (sin agregado de fertilizante en dicha etapa fenológica), lo cual en el caso del ensayo con sistematización convencional en Paso Farias, coincide con la respuesta en rendimiento. Mientras que, en los ensayos de riego continuo (que mostraron respuesta) los tratamientos con 23 unidades elevaron su producción de materia seca en forma significativa respecto al testigo, sin existir respuesta al agregado de nitrógeno por encima de éste nivel.

En los ensayos con riego intermitente, probablemente las pérdidas de nitrógeno determinadas por el régimen hídrico, determinaron que se deban agregar mayores dosis de nitrógeno para observar respuesta.

#### 4.3.2.2 Materia seca a fin de ciclo

El peso seco final de planta representa el tamaño de la fuente de fotoasimilados que el cultivo tuvo disponible para la generación y concreción del rendimiento. En el cuadro no. 8 se detalla el comportamiento de los diferentes ensayos en producción de biomasa frente a las tecnologías de fertilización evaluadas.

Cuadro no.15 Resumen del análisis estadístico de producción de materia seca de planta en etapa reproductiva según ensayo.

Ambiente	Reproductivo				
	Continuo			Intermitente	
	IV (cm)	C.V	p-valor	C.V	p-valor
CS	4	36,2	ns*	17,6	ns*
CSt	4	23,8	ns*	26,5	ns*
PF	8	21,1	ns*	19,1	ns*
PF	4	26,2	ns*	22,5	ns*
PFt	4	27,7	ns*	28,8	ns*

\* p-valor > 0,05

De acuerdo a lo presentado en el cuadro no.15 no existieron diferencias significativas entre tratamientos en ninguno de los ensayos en estudio. Es importante considerar los elevados coeficientes de variación que presentó la variable, los cuales determinan que las diferencias entre tratamientos deban ser muy elevadas para que estos se consideren estadísticamente diferentes (ver cuadros de ANAVA en anexo 5).

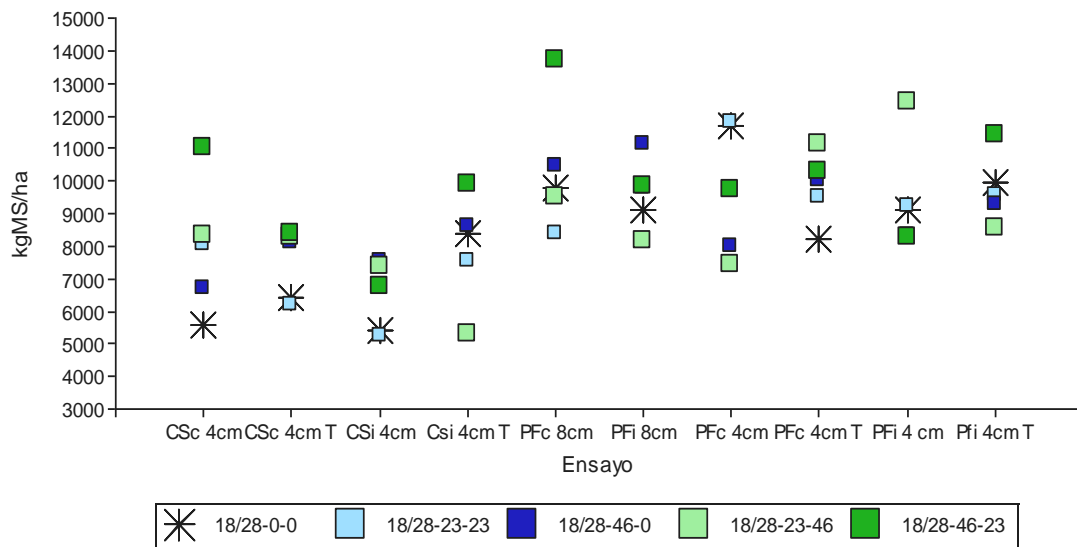


Figura no. 16 Materia seca de planta a cosecha según tecnología de fertilización para cada experimento.

Referencias:

- CSti4 = Cinco Sauces, riego intermitente, intervalo vertical de 4cm
- CSc4 = Cinco Sauces, riego continuo, intervalo vertical de 4cm
- CSti4= Cinco Sauces, taipa, riego intermitente, intervalo vertical de 4cm
- CStc4= Cinco Sauces, taipa, riego continuo, intervalo vertical de 4cm
- PFi8 = Paso Farias, riego intermitente, intervalo vertical de 8cm
- PFc8 = Paso Farias, riego continuo, intervalo vertical de 8cm
- PFi4 = Paso Farias, riego intermitente, intervalo vertical de 4cm
- PFc4 = Paso Farias, riego continuo, intervalo vertical de 4cm
- PFti4 = Paso Farias, taipa, riego intermitente, intervalo vertical de 4cm
- PFtc4 = Paso Farias, taipa, riego continuo, intervalo vertical de 4cm

Los resultados presentados en la figura no. 16 no son comparables estadísticamente, pero se presentan para visualizar la influencia que cada combinación de factores (ambiente, tipo de riego e intervalo vertical entre taipas) ejerce sobre la producción de materia seca y como éstos interactúan con las tecnologías de fertilización evaluadas.

Como se puede observar existió interacción tratamiento por ambiente, donde el comportamiento de cada tecnología de fertilización dependió de las combinaciones de factores de cada experimento.

La tendencia general presentada por la mayoría de los ensayos, fue que los tratamientos que llevaron mayores dosis de nitrógeno total y mayores dosis en macollaje

se posicionaran con las mayores producciones de materia seca. Por lo contrario los cuadros del ensayo bajo riego continuo y sistematización múltiple taipa en Paso Farias, tienden a presentar respuesta negativa al agregado de nitrógeno. En el caso mencionado los tratamientos con menores dosis (18-0-0 y 18-23-23) fueron los que se posicionaron con los mayores valores de biomasa acumulada, contrariamente a las taipas de dicho ensayo que tendieron a aumentar su producción de materia seca frente al agregado de nitrógeno.

En general en la mayoría de los experimentos, a pesar de no presentar diferencias significativas entre tratamientos, las tecnologías de fertilización que tendieron a alcanzar las mayores producciones de materia seca, también fueron los que alcanzaron mayor rendimiento en grano, con la excepción del ensayo bajo riego intermitente y sistematización múltiple taipa en Paso Farias, en el cual no existió correlación entre la producción de materia seca y el rendimiento.

Considerando las mediciones de materia seca en macollaje y a fin de ciclo, las diferencias entre ambientes fueron mas acentuadas en estado reproductivo que en vegetativo, lo cual concuerda con la evolución de la curva sigmoide de acumulación de biomasa. Donde en etapas iniciales (inicios de macollaje) la cantidad de materia seca acumulada es muy pequeña y no existen grandes diferencias entre ambientes, mientras que en estado reproductivo (encañado) las tasas de acumulación son muy elevadas y las diferencias entre ambientes se tornan más evidentes.

### 4.3.3 Contenido de nitrógeno en planta

#### 4.3.3.1 SPAD en etapa vegetativa

El SPAD mide indirectamente el contenido de nitrógeno en planta a través de la concentración de clorofila.

Si el dispositivo es un buen estimador del contenido de clorofila, la planta pudo absorber la suficiente cantidad del nutriente como para aumentar su status nitrogenado en las dos semanas posteriores a la fertilización, y además existe respuesta al agregado de nitrógeno, es esperable que los tratamientos con mayores dosis presenten mayor concentración del nutriente en planta (mayor valor de SPAD)

Cuadro no.16 Resumen del análisis estadístico del contenido de nitrógeno en planta (medido con SPAD) en macollaje.

Ambiente	Vegetativo				
	Continuo			Intermitente	
	IV (cm)	C.V	p-valor	C.V	p-valor
CS	4	1,4	0,030	2,3	0,002
CSt	4	2,2	0,003	3,4	0,006
PF	8	3,14	0,001	2,4	0,002
PF	4	7,16	ns*	2,5	ns*
PFt	4	4,32	ns*	5,2	ns*

\* p-valor > 0,05

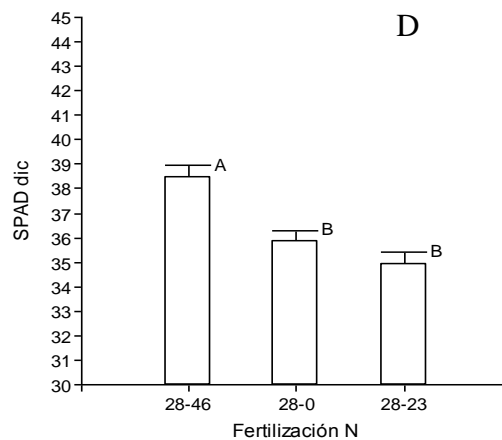
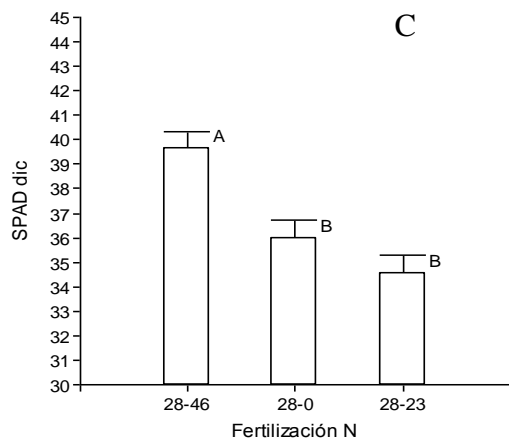
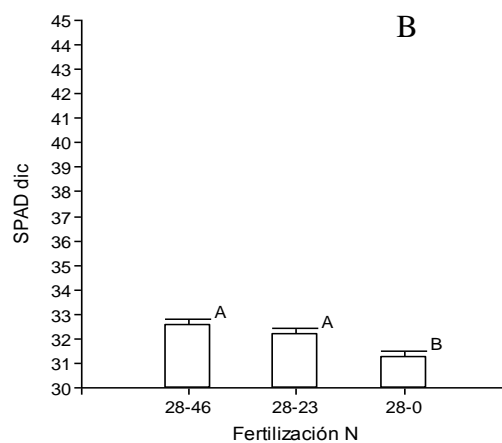
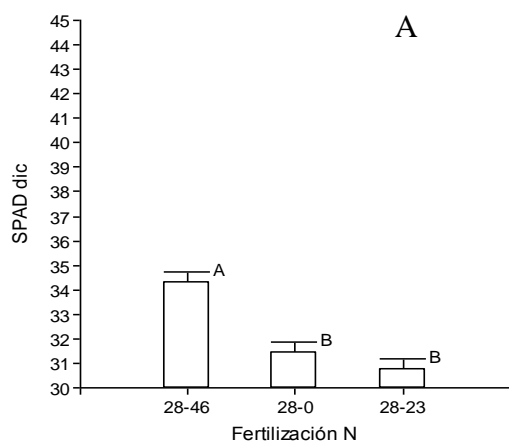
Como se puede observar en el cuadro no.16 a excepción de los ensayos con sistematización de 4cm entre taipas en Paso Farias, todos los experimentos evidenciaron respuesta a los tratamientos de fertilización nitrogenada en macollaje, en la concentración de clorofila en la planta (ver cuadros de ANAVA en anexo 4).

Cuadro no.17 SPAD en estado vegetativo, ensayos con riego continuo

Tratamientos	Paso Farias						Cinco Sauces			
	IV 8cm		IV 4cm		IV 4cm taipa		IV 4cm		IV 4cm taipa	
18-0	34	c	39	a	39	a	31	b	36	b
18-23	37	b	38	a	37	a	32	a	35	b
18-46	42	a	38	a	36	a	33	a	38	a

Cuadro no.18 SPAD en estado vegetativo, ensayos con riego intermitente

Tratamientos	Paso Farias						Cinco Sauces			
	IV 8cm		IV 4cm		IV 4cm taipa		IV 4cm		IV 4cm taipa	
18-0	35	c	39	a	36	a	31	b	36	b
18-23	38	b	39	a	38	a	31	b	35	b
18-46	42	a	40	a	38	a	34	a	40	a



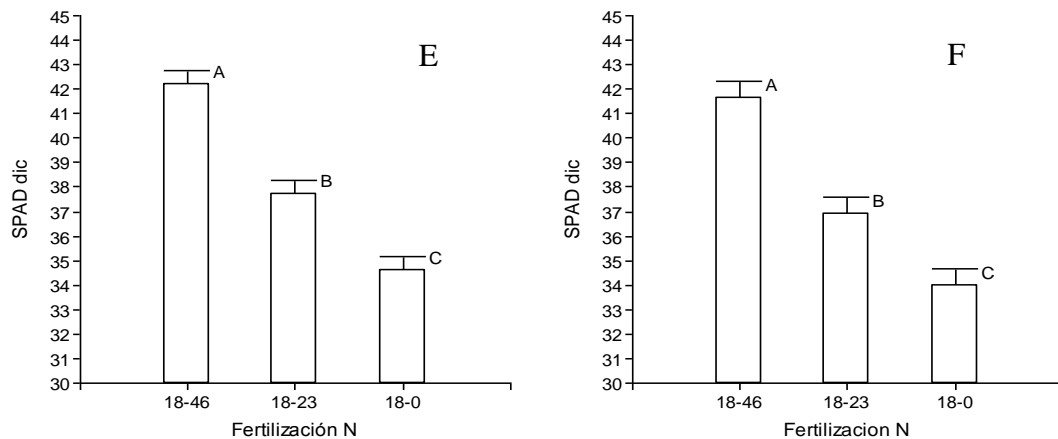


Figura no. 17 Medición de SPAD en macollaje

- A ensayo ubicado en Cinco Sauces con riego intermitente e intervalo vertical de 4cm.
- B ensayo ubicado en Cinco Sauces con riego continuo e intervalo vertical de 4cm.
- C taipas del ensayo ubicado en Cinco Sauces con riego intermitente e intervalo vertical de 4cm.
- D taipas del ensayo ubicado en Cinco Sauces con riego continuo e intervalo vertical de 4cm.
- E ensayo ubicado en Paso Farias con riego intermitente e intervalo vertical de 8 cm.
- F ensayo ubicado en Paso Farias con riego continuo e intervalo vertical de 8 cm.

En Cinco Sauces se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en todos los ensayos, tanto en las taipas como en los cuadros.

El experimento con riego intermitente mostró diferencias significativas en concentración de clorofila a partir de las 46 unidades de nitrógeno agregadas en macollaje, mientras que el tratamiento con 23 unidades no se diferencio estadísticamente del testigo. Este comportamiento se repite en las taipas (figuras no. 17 C y D).

Por otro lado, los cuadros del ensayo con riego continuo mostraron respuesta al agregado de nitrógeno en macollaje independientemente de la dosis, los tratamientos con 23 y 46 unidades alcanzaron un status nitrogenado en planta estadísticamente superior al testigo, pero sin diferenciarse entre ellos.

En el caso de Paso Farias, los únicos experimentos en los cuales se detectaron diferencias significativas entre tratamientos fueron los de sistematización convencional (figuras no. 17 E y F). Independientemente del sistema de riego, la tendencia observada fue que dosis crecientes de fertilizante determinaron un mayor status nitrogenado en planta.



En el ensayo con sistematización convencional y riego continuo de Paso Farias y en el de sistematización múltiple taipa y riego continuo de Cinco Sauces, el contenido de clorofila se correlaciono con el peso seco de planta medido en el mismo momento. Probablemente la interacción de factores que combinan éstos ensayos determino que el status nitrogenado del cultivo explique la acumulación de biomasa hasta el momento de la medición.

#### 4.3.3.2 SPAD en etapa reproductiva

La medición de contenido de clorofila en la etapa reproductiva, al igual que en vegetativo, se realizo 15 días post aplicación de fertilizante en este caso de primordio y persigue el mismo objetivo, observar la variación en el status nitrogenado del cultivo según la dosis de nitrógeno agregado.

Cuadro no.19 Resumen del análisis estadístico del contenido de nitrógeno en planta en etapa reproductiva

Ambiente	Reproductivo				
	IV (cm)	Continuo		Intermitente	
		C.V	p-valor	C.V	p-valor
CS	4	5,1	ns*	7,2	ns*
CSt	4	7,3	ns*	6,9	ns*
PF	8	2,8	0,0198	4,8	ns*
PF	4	5,5	ns*	5,4	ns*
PFt	4	5,9	ns*	5,7	ns*

\* p-valor > 0,05

Como se puede observar en el cuadro no. 19 la mayoría los experimentos evaluados no presentaron diferencias significativas en status nitrogenado del cultivo, medido a través de la concentración de clorofila, según el nivel de fertilización nitrogenada (ver cuadros de ANAVA en anexo 6).

La variable medida probablemente no se ajusto al propósito con el cual fue realizada, por la incidencia de alguno de los siguientes factores: el dispositivo (SPAD) no es un buen estimador del status nitrogenado, el lapso de tiempo entre la a aplicación de fertilizante y la medición no fue suficiente para que el cultivo absorba en nitrógeno agregado y lo traduzca en mayor contenido de clorofila, o el agregado adicional de nitrógeno no se tradujo en mayor contenido de clorofila en planta.

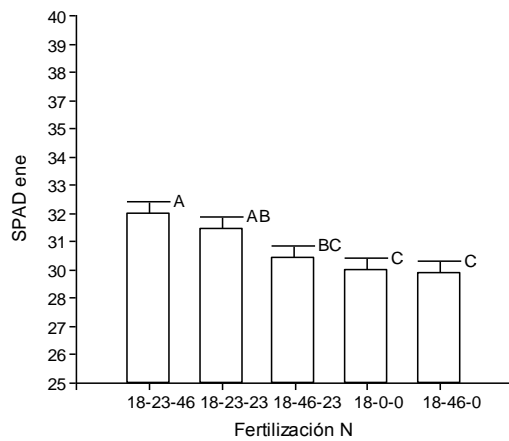


Figura no.18 Medición de SPAD en reproductivo, ensayo ubicado en Paso Farias con riego continuo e intervalo vertical de 8 cm entre taipas.

En el la figura no. 18 se presenta el único ensayo que evidencio diferencias significativas entre tratamientos, en contenido de clorofila en planta en etapa reproductiva. Como se puede observar, la respuesta esta determinada por el agregado de N en primordio, las mayores dosis de fertilizante determinaron mayor status nitrogenado del cultivo. Es destacable que dicha respuesta no se tradujo en producción de biomasa ni en rendimiento en grano.

#### 4.4 CORRELACIÓN ENTRE RENDIMIENTO Y VARIABLES ASOCIADAS

En ésta sección se presenta un análisis de correlaciones entre las variables concentración de clorofila en planta (medida indirectamente a través del SPAD) en etapa vegetativa (macollaje) y en etapa reproductiva (primordio floral) con el rendimiento final en grano, y de ésta ultima con biomasa aérea en los mismos momentos.

Cuadro no. 20 Correlaciones entre variables en ensayos con riego intermitente

	<b>Riego intermitente</b>					
	<b>Paso Farias</b>				<b>Cinco Sauces</b>	
	<b>IV 8cm</b>		<b>IV 4 cm</b>		<b>IV 4 cm</b>	
	<b>Ecuación</b>	<b>R2</b>	<b>Ecuación</b>	<b>R2</b>	<b>Ecuación</b>	<b>R2</b>
1	$y = 175,8x + 3771$	<b>0,45</b>	$y = -5,5x + 8586$	<b>0,00</b>	$y = -137,2x + 13039$	<b>0,06</b>
2	$y = -98,7x + 13689$	<b>0,04</b>	$y = -204,5x + 14750$	<b>0,18</b>	$y = -39,9x + 10004$	<b>0,01</b>
3	$y = 0,04x + 10543$	<b>0,00</b>	$y = -0,7x + 9450$	<b>0,12</b>	$y = -0,1x + 8841$	<b>0,00</b>
4	$y = 0,02x + 10414$	<b>0,00</b>	$y = 0,02x + 8165$	<b>0,01</b>	$y = -0,0x + 8651$	<b>0,00</b>

Referencias:

- 1 Contenido de clorofila (medido con SPAD) en estado vegetativo con rendimiento.
- 2 Contenido de clorofila (medido con SPAD) en estado reproductivo con rendimiento.
- 3 Producción de materia seca en estado vegetativo con rendimiento.
- 4 Producción de materia seca en estado reproductivo con rendimiento.

Cuadro no. 21 Correlaciones entre variables en ensayos con riego continuo

	<b>Riego continuo</b>					
	<b>Paso Farias</b>				<b>Cinco Sauces</b>	
	<b>IV 8cm</b>		<b>IV 4 cm</b>		<b>IV 4 cm</b>	
	<b>Ecuación</b>	<b>R2</b>	<b>Ecuación</b>	<b>R2</b>	<b>Ecuación</b>	<b>R2</b>
1	$y = 162,3x + 4894$	<b>0,35</b>	$y = -77,8x + 12504$	<b>0,03</b>	$y = 560,5x - 9174$	<b>0,15</b>
2	$y = 91,7x + 8295$	<b>0,02</b>	$y = -178,2x + 15064$	<b>0,08</b>	$y = 63,1x + 6783$	<b>0,01</b>
3	$y = 0,7x + 9737$	<b>0,15</b>	$y = 1,3 + 7668$	<b>0,14</b>	$y = 1,3x + 5285$	<b>0,28</b>
4	$y = 0,01x + 10928$	<b>0,00</b>	$y = -0,1x + 10761$	<b>0,09</b>	$y = 0,2x + 6852$	<b>0,14</b>

Referencias:

- 1 Contenido de clorofila (medido con SPAD) en estado vegetativo con rendimiento.
- 2 Contenido de clorofila (medido con SPAD) en estado reproductivo con rendimiento.
- 3 Producción de materia seca en estado vegetativo con rendimiento.
- 4 Producción de materia seca en estado reproductivo con rendimiento.

Como se puede observar en los cuadros no.20 y 21 todos los ensayos presentaron correlaciones bajas entre producción de biomasa aérea y concentración de clorofila en hoja, en diferentes momentos del ciclo, con el rendimiento en grano.

A partir de lo mencionado en el párrafo anterior se puede inferir que en el caso particular de los ensayos evaluados, las variables biomasa aérea como contenido de clorofila (medido a través del SPAD) tanto en estado vegetativo como en reproductivo no constituyen variables predictivas del rendimiento final alcanzado.

#### 4.4 EVOLUCIÓN DE LA FLORACIÓN

A continuación se presenta la evolución de la floración según combinación de sistema de riego (continuo e intermitente), sistematización de chacra (intervalo vertical de 8 y 4cm), con el objetivo de visualizar la influencia de éstos factores sobre la fenología del cultivo. Para los sistemas múltiple taipa se presentan los datos de cuadro y taipa, de acuerdo a la mayor importancia de estas últimas en el sistema, por el elevado porcentaje de superficie que ocupan.

Es de esperar que la planta de arroz alargue su ciclo a floración en los ensayos con riego intermitente, al igual que en las taipas, debido a los efectos que el estrés hídrico produce en la planta. Si bien el sistema intermitente no debería exponer el cultivo a condiciones de estrés (contenido hídrico del suelo por debajo de saturación) es muy difícil homogenizar el riego en toda el área del cultivo, por lo cual el manejo de intermitencia hasta suelo saturado podría generar condiciones de estrés hídrico para el cultivo a cualquier obstáculo que se presente en el control del riego.

También es esperable que los tratamientos que llevaron mayores dosis de nitrógeno sean los que alcancen 50% de floración más tarde, debido a los efectos que este nutriente tiene en prolongar la etapa vegetativa en la planta de arroz.

Contrariamente a lo esperado, el largo de ciclo a floración no evidencio correlación clara con las tecnologías de fertilización nitrogenada evaluadas (ver anexo 7), por lo cual, con fines prácticos, se opto por presentar únicamente el efecto de la combinación de sistemas de riego e intervalos verticales entre taipas.

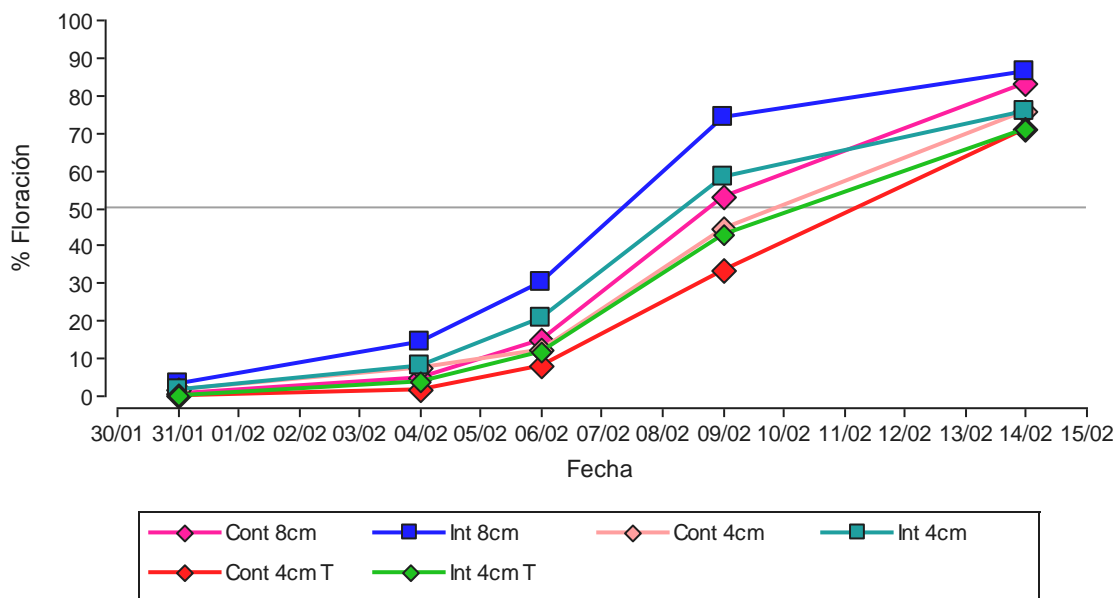


Figura no.19 Evolución de la floración según sistema de riego en los ensayos de Paso Farías (promedio de todos los tratamientos de nitrógeno)

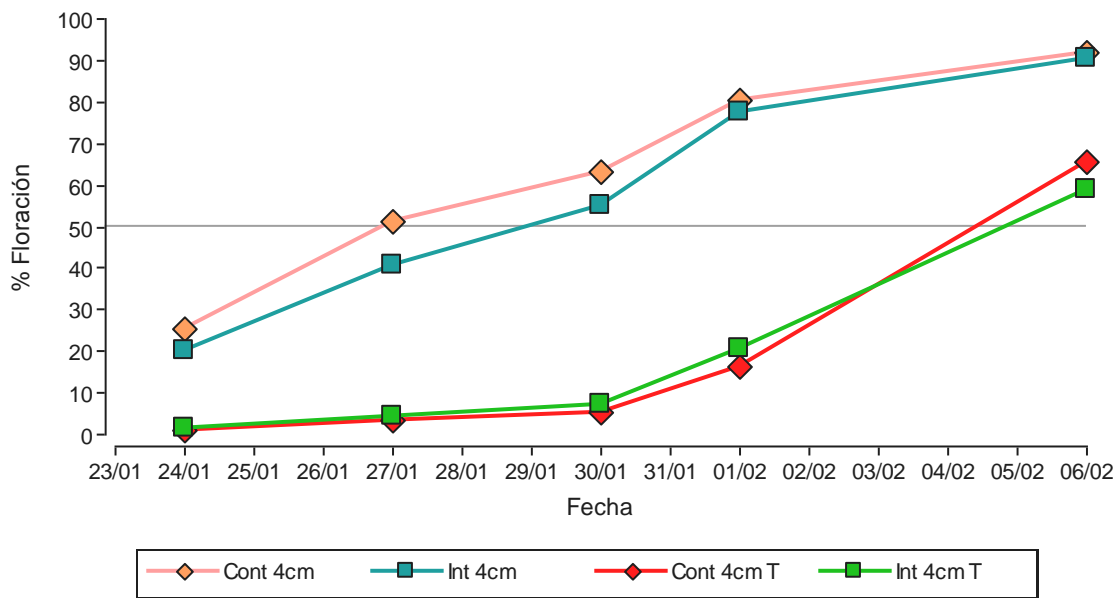


Figura no. 20 Evolución de la floración según sistema de riego en los ensayos de Cinco Sauces (promedio de todos los tratamientos de nitrógeno)

En Paso Farías (figura no. 19), el ensayo con caudal intermitente e intervalo vertical de 8cm entre taipas, alcanzo 50% de floración antes que los demás. Mientras

que las taipas del ensayo con riego continuo e intervalo vertical de 4cm, fueron quienes demoraron mayor tiempo en alcanzar la floración, sin evidenciarse grandes diferencias en largo de ciclo entre los demás experimentos.

Contrariamente en Cinco Sauces (figura no. 20), el riego continuo provoco una anticipación de la floración respecto al intermitente (2-3 días). Las taipas retrasaron su ciclo a floración de 5 a 6 días, en relación a los cuadros, sin evidenciar diferencias entre sistemas de riegos.

Las diferencias que existieron entre ambos sitios con respecto al largo de ciclo a floración en los ensayos con riego intermitente, podrían estar explicadas por las diferencias en el manejo del riego y a la altura de las taipas, de acuerdo a que en Cinco Sauces el mayor porcentaje de pendiente del terreno determino que las taipas debieran ser de mayor altura y el riego intermitente fuera más restrictivo que en Paso Farías.

En Paso Farías la dispersión entre ensayos fue menor que en Cinco Sauces, mientras que en el primero la máxima diferencia en largo de ciclo entre ensayos fue de 5 días, en Cinco Sauces ésta alcanzo los 8 días. Las diferencias observadas son adjudicadas a las características particulares de cada ambiente.

## 5. CONCLUSIONES

- Existió respuesta diferencial al agregado de nitrógeno dependiendo de la combinación de los factores: tipo de riego y sistematización de chacra. El patrón de respuesta de cada ensayo estuvo asociado al ambiente en el cual se evaluó, determinando que no existiera una tecnología de fertilización con comportamiento superior en todos los experimentos.
- En tres de los seis ensayos evaluados se encontraron aumentos significativos en el rendimiento en grano por el agregado de nitrógeno en etapas posteriores a la siembra.
- La reducción del intervalo vertical (de 8cm a 4cm entre taipas) determino un menor nivel de rendimiento en grano. Mientras que la combinación de distintos tipos de riego y sistematización de chacra determinaron diferencias en el nivel de respuesta al agregado de nitrógeno y en la eficiencia de uso del mismo.
- No existió efecto de las tecnologías de fertilización sobre los componentes de rendimiento panojas por metro cuadrado, granos por panoja y peso de mil granos.
- Cuatro de los seis experimentos evaluados mostraron respuesta positiva a la fertilización nitrogenada en producción de biomasa hasta macollaje, pero ésta no se evidenció a fin de ciclo. La sistematización de chacra fue el principal factor en marcar diferencias en producción de materia seca, donde los ensayos con intervalo vertical de 4 cm tendieron a una menor acumulación de biomasa, pero dichas diferencias no se evidenciaron a fin de ciclo.
- Respecto al status nitrogenado del cultivo (medido mediante SPAD) en macollaje la mayoría de los experimentos mostraron respuesta positiva a la fertilización nitrogenada en dicho estadio, mientras que en primordio no se expresaron diferencias entre tratamientos.
- Tanto el status nitrogenado del cultivo como la producción de biomasa aérea en estado vegetativo y reproductivo, no estuvieron directamente relacionados a la producción de grano (correlaciones bajas).
- No se detectaron efectos claros del manejo de la fertilización nitrogenada sobre la evolución de la floración. Se observó un retraso de las taipas en su ciclo a floración respecto a los cuadros, en ambos ambientes, independientemente del sistema de riego.

## 6. RESUMEN

La evaluación del comportamiento de las tecnologías de fertilización nitrogenada mayoritariamente utilizadas en las zonas Centro y Norte del país, frente a diferentes sistemas de riego y tipos de sistematización de chacra, constituye una herramienta fundamental para optimizar el uso de insumos y contribuir con la disminución de costos, mejorando las condiciones de producción y fomentando la expansión del rubro en las zonas con mayor potencial productivo a nivel país. Se realizaron una serie de 8 experimentos tendientes a evaluar el efecto de diferentes dosis y fraccionamiento del fertilizante nitrogenado, bajo 2 formas de riego (continuo e intermitente) y 2 sistematizaciones de chacra (convencional con intervalo vertical de 8cm y múltiple taipa con intervalo vertical de 4 cm). Los experimentos se llevaron a cabo en las regiones Centro (Cinco Sauces departamento de Tacuarembó) y Norte (Paso Farias departamento de Artigas) del país. El objetivo fue el de estudiar la respuesta a nitrógeno del cultivar INIA Olimar frente a diferentes situaciones productivas. Los cinco tratamientos evaluados fueron: 46 unidades de nitrógeno (100kg de urea) aplicados en dos formas de fraccionamiento 50% macollaje - 50% primordio y 100% macollaje; 69 unidades de nitrógeno (150kg de urea) fraccionados en 33% en macollaje-66% primordio floral y 66% macollaje-33% primordio; y un testigo que llevo únicamente la fertilización a la siembra. Se efectuaron determinaciones de: materia seca de planta (parte aérea) a macollaje y previo a la cosecha; status nitrogenado del cultivo, mediante el uso de SPAD en etapa vegetativa y reproductiva; rendimiento (kg/ha) en grano seco y limpio; cuantificación de componentes de rendimiento (Panojas /m<sup>2</sup>; granos/panoja y peso de 1000 granos) y se realizó un monitoreo de la evolución de la floración en los diferentes ensayos. De los resultados obtenidos se destaca, que la existencia de respuesta a los tratamientos dependió de la combinación del sistema de riego e intervalo vertical entre taipas, así como del ambiente en cuestión. Los ensayos con intervalo vertical de 4cm presentaron respuesta a las tecnologías de fertilización nitrogenada cuando el sistema de riego fue continuo, mientras que bajo riego intermitente, todos los tratamientos se comportaron iguales estadísticamente, sin respuesta al agregado de nitrógeno. Contrariamente los ensayos con intervalo vertical de 8cm, mostraron respuesta a los tratamientos bajo riego intermitente y no bajo riego continuo. En cuanto a la sistematización de chacra los ensayos con intervalo vertical de 4cm entre taipas presentaron un nivel de rendimiento inferior a los de 8cm. Existió respuesta positiva a la fertilización nitrogenada en producción de materia seca en macollaje en la mayoría de los experimentos, sin evidenciar diferencias entre tratamientos en la medición a fin de ciclo. En la mayoría de los ensayos no existió correlación entre la producción de materia seca total y el rendimiento en grano. El largo de ciclo a floración no mostró correlación clara con las tecnologías de fertilización nitrogenada evaluadas, mientras que el efecto de los sistemas de riego fue contrastante dependiendo del ambiente en el cual se llevaron a cabo los ensayos.

Palabras clave: Arroz; Nitrógeno; Sistematización; Riego



## 7. SUMMARY

The assessment of the nitrogen fertilization technology used under different irrigation systems and field layouts, could provide an important tool towards the optimization of efficient inputs use as well as the reduction of production costs. These practices would contribute to improve the rice production systems as well as to encourage the expansion of the crop to high potential yields zones. A total set of eight experiments were carried out in the centre (Cinco Sauces - Tacuarembó) and north regions (Paso Farias - Artigas) of the country. The main goal was to determine the production response of a rice crop (cultivar: INIA Olimar) with different nitrogen fertilization rates and moments under two dissimilar irrigation systems (continuous and intermittent) and two field layouts (conventional = 8cm contour interval and multiple banks with 4 cm contour interval). The five evaluated treatments were: 1. 100kg/ha urea =46 units of nitrogen applied 50% tillering - 50% panicle initiation; 2. 100kg/ha urea applied 100% tillering; 3. 150kg/ha urea=69 units of nitrogen applied 33% tillering-66% panicle initiation ; 4. 150kg/ha urea applied 66% tillering-33% panicle initiation; 5. Control treatment with no nitrogen re-fertilization (only received the initial fertilization at seeding). The data collected included: aerial dry matter during tillering and before harvest, crop nitrogen status using SPAD; dry yield (kg / ha); yield components (Panicle/m; grains/panicle, weight of 1000 grains) and also monitoring the evolution of percent flowering. Main results showed that the existence of response to nitrogen treatments was dependent on the combination of the irrigation system and field layouts. Grain yield responded to nitrogen fertilization technologies when the irrigation system was continuous in the 4cm contour interval, while under intermittent irrigation, all treatments behaved statistically equal, without response. However, the 8cm contour interval showed a response to nitrogen fertilization in the intermittently irrigated treatments. The low interval 4 cm of field layout presented a lower yield relative to the the higher one -8cm of contour interval. A positive response in dry matter production (kg DM/ha) during tillering to nitrogen fertilization in the majority of the experiments was obtained, without noticing any difference between treatments at harvest. In the majority of the trials there not was a correlation between total dry matter production and yield. There was no correlation between the length of the flowering/bloom cycle and the nitrogen fertilization technologies evaluated, whereas the effect of irrigation systems was contrasting depending on the environment in which the trials have been conducted

Key words: Rice; Nitrogen; Field layout; Irrigation

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. ADAMS, M. 1995. Fundamentos de química de suelos. Venezuela, Arauco. 393 p.
2. ATANASIU, N.; SAMY, J. 1985. Arroz, uso eficaz de los fertilizantes. Zurich, Centro de Estudios de Nitrógeno. 100 p.
3. BARRETO, J.; ROJAS, H. 1987. Manejo de agua y nitrógeno en arroz riego en Valle de Cauca. Acta Agronómica. 37 (1): 22-35.
4. BARRIOS, M.; ADAMS, M. 1996. Uso de fertilizantes nitrogenados en arroz irrigado en un suelo de la serie de Calabozo. Venesuelos. 4 (1-2): 28-35.
5. BATELLO, C.; QUEHEILLE, N.; VARGA, R.; GONNET, D.; HILL, M.; ROEL, A.; CANTAU, G.; MARTINEZ, M.; PIPOOLO, D. s.f. Guía de buenas practicas en el cultivo de arroz en Uruguay. (en línea). s.n.t. 29 p. Consultado 6 mar. 2013. Disponible en [http://64.76.123.202/SAGPYA/economias\\_regionales/\\_arroz/\\_publicaciones/Guia\\_BPA\\_de\\_Arroz\\_en\\_Uruguay.pdf](http://64.76.123.202/SAGPYA/economias_regionales/_arroz/_publicaciones/Guia_BPA_de_Arroz_en_Uruguay.pdf)
6. BENINTENDE, S.; BENINTENDE, M.; DE BATTISTA, J.; SALUZZIO, M.; SANCHEZ, C.; STERREN, M.; ARIAS, N.; OSZUST, J.; PRETTO, G.; FACCENDINI, N. 2011. Estimación de la mineralización y fijación biológica del nitrógeno en suelos inundados para optimizar su utilización en el cultivo de arroz y minimizar el daño ambiental. Ciencia, Docencia y Tecnología Suplemento. 1 (1): 1-15.
7. BLANCO, F.; ROEL, A. 1993. Riego. Altura de la lámina de inundación. In: Arroz; resultados experimentales. Montevideo, INIA. pp. 20-24.
8. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 1994. Riego. Altura de la lámina de inundación. In: Arroz; resultados experimentales. Montevideo, INIA. pp. 15-18.
9. BLANCO, P.; MOLINA, F.; PEREZ DE VIDA, F.; AVILA, S.; LAVECCHIA, A.; MARCHESI, C.; DEAMBROSI, E.; MENDEZ, R.; SALDAIN, N.; ROEL, A.; ZORRILLA, G.; ACEVEDO, A. 2004. INIA Olimar, características y comportamiento en la zafra 2003-04. Arroz. 10 (38): 40-48.
10. BÖCKING, B.; BANDEIRA, S.; CARNELLI, J.; GARCÍA, G.; MARELLA, M.; MARCO, M.; MOOR, J.; HENDERSON, J.; GUSSONI, A.; LAVECCHIA, A. 2008. Riego intermitente una alternativa que debemos

ir incorporando en nuestros sistemas de riego. In: Presentación resultados experimentales arroz; zafra 2007-2008 (Artigas y Tacuarembó). Tacuarembó, INIA. pp. 77-96 (Actividades de Difusión no.543)

11. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. *Agricultural Water Management*. 49 (1): 11–30.
12. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; HENGSDIJK, H.; HARBY, B.; BINDRABAN, P.; LADHA, J. 2002. Water-wise rice producción. Los Baños, Philippines, International Rice Research Institute. 356 p.
13. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; LAMPAYAN, R. 2007 Water management in irrigated rice: coping with water scarcity. Los Baños, Philippines, International Rice Research Institute. 54 p.
14. CARRACELAS, G.; MARCHESI, C.; LAVECCHIA, A. 2012. Presentación de resultados experimentales de arroz. Montevideo, INIA. 96 p. (Actividades de Difusión no. 690)
15. CARRILLO DE CORI, C.; CASANOVA, E.; RICO, G. 1991a. Balance de nitrógeno en arroz de riego en un vertisol del estado Guarico (parte I). Tesis de doctorado. Calbozo, Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. pp. 67-84.
16. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 1991b. Cambios químicos del agua de inundación de arroz bajo riego después de la aplicación de fertilizantes nitrogenados. *Agronomía Tropical*. 41 (2-1): 55-68.
17. CASTILLO, J.; TERRA, J.; PERDOMO, C.; MORI, C. 2011 Contribución relativa de las distintas fuentes de nitrógeno al cultivo de arroz, evaluada mediante técnica isotópica de abundancia natural <sup>15</sup>N. In: Arroz; resultados experimentales 2010-2011. Montevideo, INIA. pp. 54-68 (Actividades de Difusión no. 651)
18. CHEBATAROFF, N.; BLANCO, P.; DEAMBROSI, E. 1984. Respuesta a nitrógeno de variedades de arroz de diferente tipo de planta, influida por factores climáticos. *Investigaciones Agronómicas*. 5 (1): 3-7.
19. DEAMBROSI, E.; MENDEZ, R. 1996. Manejo y fertilidad de suelos. Montevideo, INIA. 79 p. (Serie Técnica no. 76)

20. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; AVILA, S. 2004. Respuesta de INIA Olimar a densidades de siembra y aplicación de nitrógeno. In: Jornada Técnica anual de Arroz (2004, Treinta y Tres). Resultados experimentales 2003-2004. Montevideo, INIA. pp. 16-19 (Actividades de Difusión no. 373)
21. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 2005. Manejo de suelos y nutrición vegetal. In: Arroz; resultados experimentales 2004-2005. Montevideo, INIA. pp. 1-5 (Actividades de Difusión no. 418)
22. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 2007. Respuesta de cultivares de arroz de tipo indica a densidades de siembra y aplicación de nitrógeno en la zona Este del Uruguay. Montevideo, INIA. 36 p. (Serie Técnica no. 167)
23. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; AVILA, S. 2008. Respuesta de cultivares de arroz de tipo indica a coberturas nitrogenadas en tres épocas de siembra tardías. In: Programa Nacional de Arroz. Arroz; resultados experimentales 2007-2008 (Treinta y Tres). Montevideo, INIA. pp. 23-34 (Actividades de Difusión no. 545)
24. DE BATTISTA, J.; AREAS, N. 2005. Arroz. In: Echeverría, H; García, F. eds. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Buenos Aires, INTA. pp. 399- 406.
25. DE DATTA, S. 1986. Producción de arroz fundamentos y prácticas. México, Limusa. 690 p.
26. DI RENZO, J.; CASANOVES, F.; GONZALES, L.; TABLADA, E.; DIAZ, M.; ROBLEDO, C.; BLAZARINI, M. 2005. Estadística para las ciencias agropecuarias. Córdoba, Brujas. 347 p.
27. DOBERMANN, A.; FAIRHURST, T. 2000. Rice; nutrient disorders and nutrient management. s.n.t. 191 p.
28. ERIKSEN, A.; KJELDBY, M.; MILSEN, S. 1985. The effect of intermittent flooding on the growth and yield of wetland rice and nitrogen-loss mechanism with surface applied and deep placed urea. *Plant and Soil*. 84 (3): 387- 401.
29. FABRE, D.; CENTENO, A.; BARBOSA, G.; ALCANTRA, A.; DANTAS, R. 2011. Doses e épocas de aplicacao de nitrogenio en arroz de varzera. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*. 41 (1): 29-38.

30. FERRÉS, J.; PIRIZ, M. 1989. Respuesta del arroz (variedad Bluebelle) a fechas de aplicación y fraccionamiento de la fertilización nitrogenada en Planosol Ocre de la Unidad Río Branco. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 156 p.
31. GAMARRA, G. 1993. Arroz; manual de producción. Montevideo, Hemisferio Sur. 439 p.
32. GARCIA, E. 1992. Incidencia de prácticas culturales en la arquitectura de la planta de arroz. Arroz. 41: 12-17.
33. HIRZEL, J.; PEDREROS, A.; CORDERO, K. 2011. Effect of nitrógeno rate and splits nitrógeno fertilization on grain yield and its components in flooded rice. Chilean Journal of Agricultural Research. 71 (3): 437-444.
34. LAVECCHIA, A.; MARCHESI, C. 2007. Manejo del cultivo-momento de inundación. In: Programa Nacional de Arroz. Arroz; resultados experimentales 2006-2007 (Artigas y Tacuarembó). Montevideo, INIA. pp. 65-68 (Actividades de Difusión no.504)
35. \_\_\_\_\_.; MARCHESI, C. 2009. Riego. In: Programa Nacional de Arroz Arroz; resultados experimentales, zafra 2009-2010. Montevideo, INIA. p. irr. (Actividades de Difusión no. 612).
36. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; CASANOVA, S. 2010. Riego. In: Programa Nacional de Arroz. Arroz; resultados experimentales, zafra 2010/2011. Montevideo, INIA. p. irr. (Actividades de Difusión no.652).
37. MARCO, M.; MARELLA, M. 2006. Rendimiento del cultivo de arroz bajo los sistemas de riego inundación continua e inundación intermitente y respuesta a la fertilización nitrogenada. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 61 p.
38. MEJIA DE TAFUR, S.; MENJIVAR, J. 2010. Nutrición mineral del arroz; Nitrógeno, funciones importantes. In: Degiovanni, B.; Martínez, R.; Motta, O. eds. Producción eco-eficiente del arroz en América latina. Cali, Centro Internacional de Agricultura Tropical. pp. 306-335.
39. MÉNDEZ, R. 2002. Eventos fenológicos, previsión de ocurrencia en el cultivo de arroz a través del modelo de suma térmica. Arroz. 3 (33): 22-25.

40. \_\_\_\_\_.; DEAMBROSI, E. 2009. Coberturas nitrogenadas para la producción de arroz; eficiencia de aplicación. Montevideo, INIA. 38 p (Serie Técnica no. 179)
41. MOOR, J.; HENDERSON, J.; GUSSONI, A. 2008. Riego intermitente una alternativa que debemos ir incorporando en nuestros sistemas de riego. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 60 p.
42. POTENCIAL DE RIEGO EXTENSIVO EN CULTIVOS Y PASTURAS (1º., 2010, Paysandú). 2010. Manejo de agua en arroz; conservación y uso eficiente. Montevideo, Boscana. 208 p.
43. QUEZADA, C.; HERNAIZ, S.; STOPLE, N.; SALUDES, A. 2001. Efectos del método de riego intermitente en componentes de rendimiento y manejo del agua en once genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.). Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences. 27 (2): 105-115.
44. QUINTERO, C. 2009 Factores limitantes para el crecimiento y productividad del arroz en entre Ríos, Argentina. Tesis doctoral. La Coruña, España. Universidad de la Coruña. 167 p.
45. \_\_\_\_\_.; PRATS, F.; ZAMERO, M.; AREVALO, E.; SPINELLI, N.; BOSCHETTI, G. 2011 Absorción de nitrógeno y rendimiento de arroz con diferentes formas de nitrógeno aplicado previo al riego. Ciencias de Suelo. 29(2): 233-239.
46. REUNIAO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO (28ª., 2010, Porto Alegre). 2010. Arroz irrigado; recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil. Porto Alegre, SOSBAI. 188 p.
47. RICO, G; PEREZ, D.; LEDEZMA, C.; PARRA, J.; ARGINZONES, H. 1992. Efecto de diferentes niveles de nitrógeno y fósforo en variedades modernas de arroz bajo condiciones de inundación en suelos pesados. Agronomía Tropical. 42 (1-2): 41-52.
48. RODRIGUEZ, H.; ARTEAGA, R.; CARDONA, R.; RAMON, M.; ALEMAN, L. 2002. Respuesta de las variedades de arroz fonaiap 1 y cimarron a dos densidades de siembra y dos dosis de nitrógeno. Bioagro. 14 (2): 105-112.
49. ROEL, A.; LAVECCHIA, A.; MENDEZ, J. 1997. Consumo de agua en chacras de productores. In: Programa Nacional de Arroz. Arroz; resultados

experimentales 1996-1997. Montevideo, INIA. pp. 108-111 (Actividades de Difusión no.143)

50. \_\_\_\_\_.; FUREST, J.; CASTERÁ, F.; GOROSITO, J.; ALVAREZ, O. 2000. Boletín agroclimatológico zafral del cultivo de arroz. (en línea). Montevideo, INIA. s.p. Consultado 8 ene. 2013. Disponible en [http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/33/bo\\_az2.htm](http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/33/bo_az2.htm)
51. ROJAS, C.; ALVARADO, R.; BELMAR, C. 1983. Fertilización nitrogenada en arroz. Efecto sobre algunos parámetros agronómicos del cultivo. Agricultura Técnica. 43 (4): 353-357.
52. TOBBAL, D.; BOUMAN, B.; BHUIYAN, S.; SIBAYAN, E.; SATTAR, M. 200 On-farm strategies for reducing water input in irrigated rice; case studies in the Philippines. Agricultural Water Management. 56: 93-112.
53. VIANNA, R. s.f. Replanteo de taipas en el sistema de riego por inundación. (en línea). s.n.t. Consultado 8 mar. 2013. Disponible en <http://www.pdfio.com/k-2275290.html>
54. YOSHIDA, S. 1981. Fundamentals of rice crop science. Los Baños, Philippines, International Rice Research Institute. 269 p.

## 9. ANEXOS

### Anexo 1

#### ANAVA RENDIMIENTO EN GRANO

##### Cinco Sauces

Ensayo: Cinco Sauces, riego continuo IV 4

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	10094135,19	4	2523533,80	4,46	0,0251
Fert. N	10094135,19	4	2523533,80	4,46	0,0251
Error	5659089,62	10	565908,96		
Total	15753224,82	14			

Ensayo: Cinco Sauces, riego intermitente IV4

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	2695049,04	4	673762,26	1,48	0,2800
Fert. N	2695049,04	4	673762,26	1,48	0,2800
Error	4557041,17	10	455704,12		
Total	7252090,21	14			

##### Paso Farías

Ensayo: Paso Farias, riego continuo IV4

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	12440909,80	4	3110227,45	10,50	0,0013
Fert. N	12440909,80	4	3110227,45	10,50	0,0013
Error	2960882,60	10	296088,26		
Total	15401792,40	14			

Ensayo: Paso Farias, riego intermitente IV4

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	3306405,72	4	826601,43	2,32	0,1273
Fert. N	3306405,72	4	826601,43	2,32	0,1273
Error	3555437,48	10	355543,75		
Total	6861843,20	14			



Ensayo: Paso Farias, riego continuo IV8

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3343741,70	4	835935,43	1,45	0,2877
Fert. N	3343741,70	4	835935,43	1,45	0,2877
Error	5760977,20	10	576097,72		
Total	9104718,90	14			

Ensayo: Paso Farias, riego intermitente IV8

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5812177,90	4	1453044,47	5,42	0,0139
Fert. N	5812177,90	4	1453044,47	5,42	0,0139
Error	2682062,42	10	268206,24		
Total	8494240,32	14			

Anexo 2

## ANAVA COMPONENTES DE RENDIMIENTO

### NÚMERO DE GRANOS /PANOJAS

#### Cinco Sauces

Ensayo: Cinco Sauces, riego continuo IV 4

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2528,49	4	632,12	1,58	0,2527
Fert N	2528,49	4	632,12	1,58	0,2527
Error	3991,36	10	399,14		
Total	6519,85	14			

Ensayo: Cinco Sauces, riego continuo IV 4 (Taipa)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1435,23	4	358,81	2,12	0,1526
Fert N	1435,23	4	358,81	2,12	0,1526
Error	1691,14	10	169,11		
Total	3126,37	14			

Ensayo: Cinco Sauces, riego intermitente IV4

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	453,63	4	113,41	0,34	0,8445
Fert N	453,63	4	113,41	0,34	0,8445
Error	3327,75	10	332,78		
Total	3781,38	14			

Ensayo: Cinco Sauces, riego intermitente IV4 (Taipa)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2654,82	4	663,71	2,06	0,1611
Fert N	2654,82	4	663,71	2,06	0,1611
Error	3218,24	10	321,82		
Total	5873,06	14			

Paso Farias

Ensayo: Paso Farias, riego continuo IV4 (cuadro)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	298,91	4	74,73	1,27	0,3433
Fert. N	298,91	4	74,73	1,27	0,3433
Error	587,20	10	58,72		
Total	886,11	14			

Ensayo: Paso Farias, riego continuo IV4 (taipa)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	877,99	4	219,50	0,89	0,5062
Fert. N	877,99	4	219,50	0,89	0,5062
Error	2475,83	10	247,58		
Total	3353,82	14			

Ensayo: Paso Farias, riego intermitente IV4 (Cuadro)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	701,18	4	175,30	0,44	0,7750
Ferti N	701,18	4	175,30	0,44	0,7750
Error	3953,43	10	395,34		
Total	4654,61	14			

Ensayo: Paso Farias, riego intermitente IV4 (taipa)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1296,41	4	324,10	0,86	0,5246
Fert N	1296,41	4	324,10	0,86	0,5246
Error	3403,94	9	378,22		
Total	4700,36	13			

Ensayo: Paso Farias, riego continuo IV8

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	396,78	4	99,19	0,70	0,6103
Fert. N	396,78	4	99,19	0,70	0,6103
Error	1420,09	10	142,01		
Total	1816,86	14			

Ensayo: Paso Farias, riego intermitente IV8

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	804,11	4	201,03	2,99	0,0727
Fert N	804,11	4	201,03	2,99	0,0727
Error	671,71	10	67,17		
Total	1475,83	14			

PANOJAS POR METRO

Cinco Sauces

Ensayo: Cinco Sauces, riego continuo IV 4 (cuadro)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	635,01	4	158,75	2,08	0,1590
Fert N	635,01	4	158,75	2,08	0,1590
Error	764,59	10	76,46		
Total	1399,60	14			

Ensayo: Cinco Sauces, riego continuo IV 4 (Taipa)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	179,16	4	44,79	1,35	0,3175
Fert N	179,16	4	44,79	1,35	0,3175
Error	331,48	10	33,15		
Total	510,64	14			

Ensayo: Cinco Sauces, riego intermitente IV4 (cuadro)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	368,52	4	92,13	0,94	0,4796
Fert N	368,52	4	92,13	0,94	0,4796
Error	979,85	10	97,99		
Total	1348,37	14			

Ensayo: Cinco Sauces, riego intermitente IV4 (Taipa)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	218,81	4	54,70	0,67	0,6303
Fert N	218,81	4	54,70	0,67	0,6303
Error	822,22	10	82,22		
Total	1041,04	14			

Paso Farias

Ensayo: Paso Farias, riego continuo IV4 (Cuadro)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3040,93	4	760,23	2,56	0,1041
Fert. N	3040,93	4	760,23	2,56	0,1041
Error	2972,00	10	297,20		
Total	6012,93	14			

Ensayo: Paso Farias, riego continuo IV4 (taipa)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	877,99	4	219,50	0,89	0,5062
Fert. N	877,99	4	219,50	0,89	0,5062
Error	2475,83	10	247,58		
Total	3353,82	14			

Ensayo: Paso Farias, riego intermitente IV4 (Cuadro)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	620,27	4	155,07	0,72	0,5998
FertN	620,27	4	155,07	0,72	0,5998
Error	2165,33	10	216,53		
Total	2785,60	14			

Ensayo: Paso Farias, riego intermitente IV4 (taipa)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2659,21	4	664,80	3,02	0,0779
Fert N	2659,21	4	664,80	3,02	0,0779
Error	1984,00	9	220,44		
Total	4643,21	13			

Ensayo: Paso Farias, riego continuo IV8

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1425,73	4	356,43	1,66	0,2339
Fert.N	1425,73	4	356,43	1,66	0,2339
Error	2142,00	10	214,20		
Total	3567,73	14			

Ensayo: Paso Farias, riego intermitente IV8

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1157,60	4	289,40	2,56	0,1037
Fert N	1157,60	4	289,40	2,56	0,1037
Error	1129,33	10	112,93		
Total	2286,93	14			

Anexo 3

ANAVA MATERIA SECA EN ESTADO VEGETATIVO

Cinco Sauces

Ensayo: Cinco Sauces, riego continuo IV4 (cuadro)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1570446,08	2	785223,04	18,58	0,0027
Fert N	1570446,08	2	785223,04	18,58	0,0027
Error	253545,60	6	42257,60		
Total	1823991,68	8			

Ensayo: Cinco Sauces, riego continuo IV4 (taipa)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1251593,28	2	625796,64	1,50	0,2955
Fert N	1251593,28	2	625796,64	1,50	0,2955
Error	2496271,68	6	416045,28		
Total	3747864,96	8			

Ensayo: Cinco Sauces, riego intermitente IV4 (cuadro)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1634984,96	2	817492,48	4,40	0,0667
Fert N	1634984,96	2	817492,48	4,40	0,0667
Error	1115600,64	6	185933,44		
Total	2750585,60	8			

Ensayo: Cinco Sauces, riego intermitente IV4 (taipa)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2861223,68	2	1430611,84	11,78	0,0084
Fert N	2861223,68	2	1430611,84	11,78	0,0084
Error	728367,36	6	121394,56		
Total	3589591,04	8			

Paso Farias

Ensayo: Paso Farias, riego continuo IV4 (cuadro)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	360134,63	2	180067,32	4,60	0,0615
Fert. N	360134,63	2	180067,32	4,60	0,0615
Error	234760,18	6	39126,70		
Total	594894,81	8			

Ensayo: Paso Farias, riego continuo IV4 (taipa)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	566040,79	2	283020,40	1,73	0,2554
Fert. N	566040,79	2	283020,40	1,73	0,2554
Error	982565,41	6	163760,90		
Total	1548606,20	8			

Ensayo: Paso Farias, riego intermitente IV4 (cuadro)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	298745,87	2	149372,93	1,98	0,2186
Fert N	298745,87	2	149372,93	1,98	0,2186
Error	452625,00	6	75437,50		
Total	751370,86	8			

Ensayo: Paso Farias, riego intermitente IV4 (taipa)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	273191,54	2	136595,77	2,05	0,2099
Fert N	273191,54	2	136595,77	2,05	0,2099
Error	400210,20	6	66701,70		
Total	673401,75	8			

Ensayo: Paso Farias, riego continuo IV8

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1341970,76	2	670985,38	17,18	0,0033
Fert. N	1341970,76	2	670985,38	17,18	0,0033
Error	234276,13	6	39046,02		
Total	1576246,90	8			

Ensayo: Paso Farias, riego intermitente IV8

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2364297,35	2	1182148,68	6,54	0,0311
Fert N	2364297,35	2	1182148,68	6,54	0,0311
Error	1085267,37	6	180877,89		
Total	3449564,72	8			

Anexo 4

ANAVA SPAD EN ESTADO VEGETATIVO

Cinco Sauces

Ensayo: Cinco Sauces, riego continuo IV4 (cuadro)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2,80	2	1,40	6,57	0,0308
Fert N	2,80	2	1,40	6,57	0,0308
Error	1,28	6	0,21		
Total	4,07	8			

Ensayo: Cinco Sauces, riego continuo IV4 (taipa)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	20,60	2	10,30	16,01	0,0039
Fert N	20,60	2	10,30	16,01	0,0039
Error	3,86	6	0,64		
Total	24,45	8			

Ensayo: Cinco Sauces, riego intermitente IV4 (cuadro)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	21,02	2	10,51	18,17	0,0028
Fert N	21,02	2	10,51	18,17	0,0028
Error	3,47	6	0,58		
Total	24,49	8			

Ensayo: Cinco Sauces, riego intermitente IV4 (taipa)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	41,50	2	20,75	12,87	0,0068
Fert N	41,50	2	20,75	12,87	0,0068
Error	9,67	6	1,61		
Total	51,17	8			

Paso Farias

Ensayo: Paso Farias, riego continuo IV4 (Cuadro)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1,52	2	0,76	0,10	0,9047
Fert. N	1,52	2	0,76	0,10	0,9047
Error	44,73	6	7,46		
Total	46,25	8			

Ensayo: Paso Farias, riego continuo IV4 (taipa)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	7,35	2	3,67	1,41	0,3153
Fert.N	7,35	2	3,67	1,41	0,3153
Error	15,66	6	2,61		
Total	23,01	8			

Ensayo: Paso Farias, riego intermitente IV4 (cuadro)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4,22	2	2,11	2,11	0,2022
Fert N	4,22	2	2,11	2,11	0,2022
Error	6,00	6	1,00		
Total	10,22	8			



Ensayo: Paso Farias, riego intermitente IV4 (taipa)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5,46	2	2,73	0,73	0,5203
Fert N	5,46	2	2,73	0,73	0,5203
Error	22,46	6	3,74		
Total	27,92	8			

Ensayo: Paso Farias, riego continuo IV 8

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	90,15	2	45,08	32,56	0,0006
Fert. N	90,15	2	45,08	32,56	0,0006
Error	8,31	6	1,38		
Total	98,46	8			

Ensayo: Paso Farias, riego intermitente IV8

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	87,11	2	43,55	48,70	0,0002
Fert N	87,11	2	43,55	48,70	0,0002
Error	5,37	6	0,89		
Total	92,48	8			

Anexo 5

### ANAVA PRODUCCION DE MATERIA SECA A FIN DE CICLO

#### Cinco Sauces

Ensayo: Cinco Sauces, riego continuo IV4 (cuadro)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	50306074,69	4	12576518,67	1,52	0,2685
Fert N	50306074,69	4	12576518,67	1,52	0,2685
Error	82662273,39	10	8266227,34		
Total	132968348,08	14			

Ensayo: Cinco Sauces, riego continuo IV4 (taipa)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	13452935,92	4	3363233,98	1,64	0,2398
Fert N	13452935,92	4	3363233,98	1,64	0,2398
Error	20532652,83	10	2053265,28		
Total	33985588,75	14			

Ensayo: Cinco Sauces, riego intermitente IV4 (cuadro)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	14254379,73	4	3563594,93	2,72	0,0907
Fert N	14254379,73	4	3563594,93	2,72	0,0907
Error	13094800,45	10	1309480,05		
Total	27349180,19	14			

Ensayo: Cinco Sauces, riego intermitente IV4 (taipa)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	34490559,38	4	8622639,85	1,93	0,1813
Fert N	34490559,38	4	8622639,85	1,93	0,1813
Error	44598371,40	10	4459837,14		
Total	79088930,78	14			

### Paso Farias

Ensayo: Paso Farias, riego continuo IV4 (cuadro)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	18891326,93	4	4722831,73	0,70	0,6068
Fert. N	18891326,93	4	4722831,73	0,70	0,6068
Error	67057976,00	10	6705797,60		
Total	85949302,93	14			

Ensayo: Paso Farias, riego continuo IV4 (taipa)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	46388702,98	4	11597175,74	1,44	0,2917
Fert. N	46388702,98	4	11597175,74	1,44	0,2917
Error	80708174,40	10	8070817,44		
Total	127096877,38	14			

Ensayo: Paso Farias, riego intermitente IV4 (cuadro)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	34883782,93	4	8720945,73	1,90	0,1869
Fert N	34883782,93	4	8720945,73	1,90	0,1869
Error	45871504,00	10	4587150,40		
Total	80755286,93	14			

Ensayo: Paso Farias, riego intermitente IV4 (taipa)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	13261817,86	4	3315454,46	0,42	0,7905
Fert N	13261817,86	4	3315454,46	0,42	0,7905
Error	78825022,08	10	7882502,21		
Total	92086839,94	14			

Ensayo: Paso Farias, riego continuo IV8

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	46683672,00	4	11670918,00	2,17	0,1543
Fert. N	46683672,00	4	11670918,00	2,17	0,1543
Error	48491748,48	9	5387972,05		
Total	95175420,48	13			

Ensayo: Paso Farias, riego intermitente IV8

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	14144617,54	4	3536154,38	1,05	0,4299
Fert N	14144617,54	4	3536154,38	1,05	0,4299
Error	33721564,80	10	3372156,48		
Total	47866182,34	14			

Anexo 6

### ANAVA SPAD EN ESTADO REPRODUCTIVO

#### Cinco Sauces

Ensayo: Cinco Sauces, riego continuo IV4 (cuadro)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	16,94	4	4,24	1,40	0,3017
Fert N	16,94	4	4,24	1,40	0,3017
Error	30,19	10	3,02		
Total	47,14	14			

Ensayo: Cinco Sauces, riego continuo IV4 (taipa)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,95	4	0,24	0,03	0,9976
Fert N	0,95	4	0,24	0,03	0,9976
Error	72,57	10	7,26		
Total	73,52	14			

Ensayo: Cinco Sauces, riego intermitente IV4 (cuadro)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	16,54	4	4,13	0,64	0,6498
Fert N	16,54	4	4,13	0,64	0,6498
Error	58,52	9	6,50		
Total	75,06	13			

Ensayo: Cinco Sauces, riego intermitente IV4 (taipa)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	7,91	4	1,98	0,31	0,8618
Fert N	7,91	4	1,98	0,31	0,8618
Error	56,72	9	6,30		
Total	64,63	13			

Paso Farias

Ensayo: Paso Farias, riego continuo IV4 (cuadro)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	12,03	4	3,01	1,05	0,4348
Fert. N	12,03	4	3,01	1,05	0,4348
Error	25,83	9	2,87		
Total	37,86	13			

Ensayo: Paso Farias, riego continuo IV4 (taipa)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	7,07	4	1,77	0,51	0,7310
Fert. N	7,07	4	1,77	0,51	0,7310
Error	34,75	10	3,47		
Total	41,82	14			

Ensayo: Paso Farias, riego intermitente IV4 (cuadro)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1,27	4	0,32	0,11	0,9763
Fert N	1,27	4	0,32	0,11	0,9763
Error	28,83	10	2,88		
Total	30,10	14			

Ensayo: Paso Farias, riego intermitente IV4 (taipa)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3,48	4	0,87	0,27	0,8935
Fert N	3,48	4	0,87	0,27	0,8935
Error	32,77	10	3,28		
Total	36,25	14			

Ensayo: Paso Farias, riego continuo IV8

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	14,05	4	3,51	4,83	0,0198
Fert. N	14,05	4	3,51	4,83	0,0198
Error	7,27	10	0,73		
Total	21,31	14			

Ensayo: Paso Farias, riego intermitente IV8

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	10,23	4	2,56	1,12	0,4007
Fert N	10,23	4	2,56	1,12	0,4007
Error	22,87	10	2,29		
Total	33,10	14			

Anexo 7

EVOLUCION DE LA FLORACION SEGÚN TRATAMIENTO

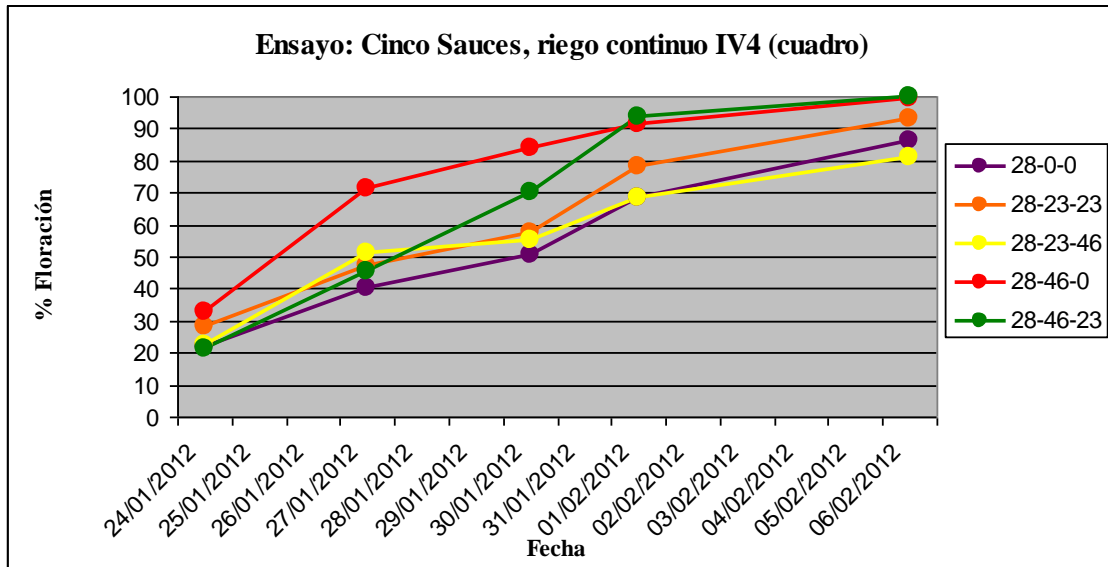


Figura no. 1

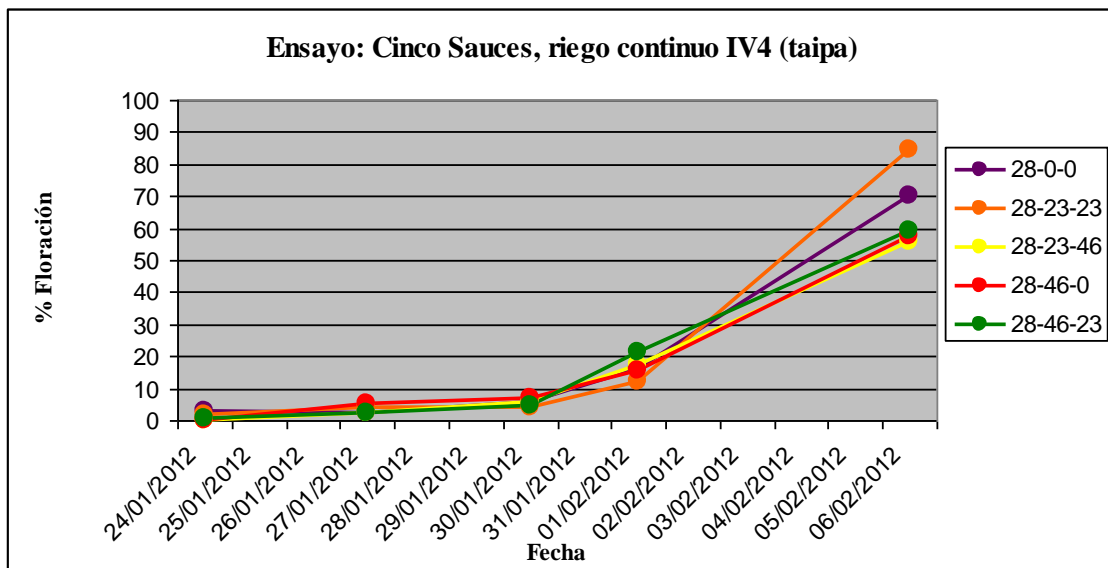


Figura no. 2

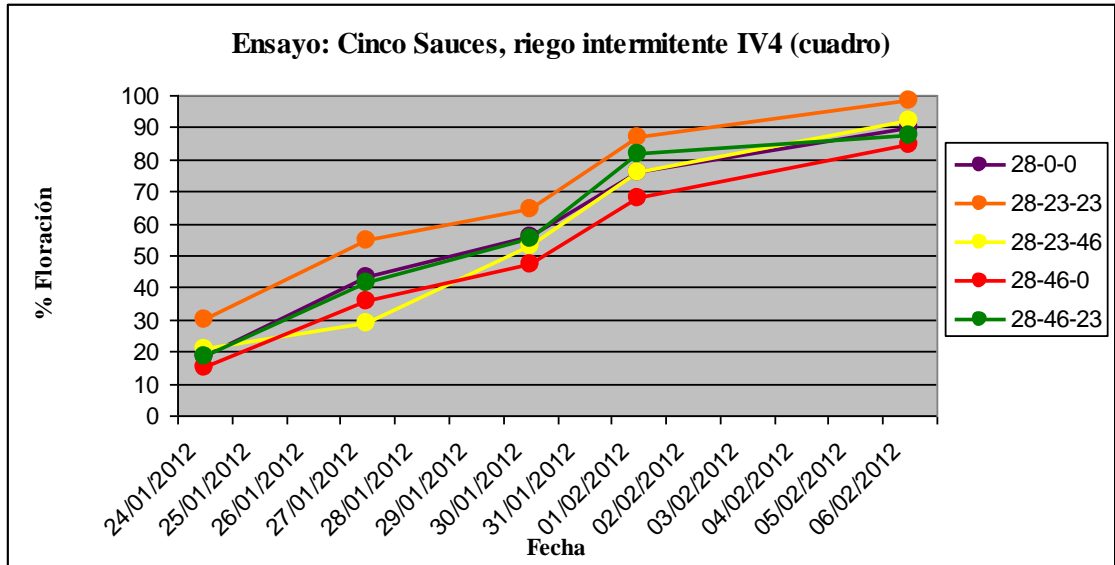


Figura no.3

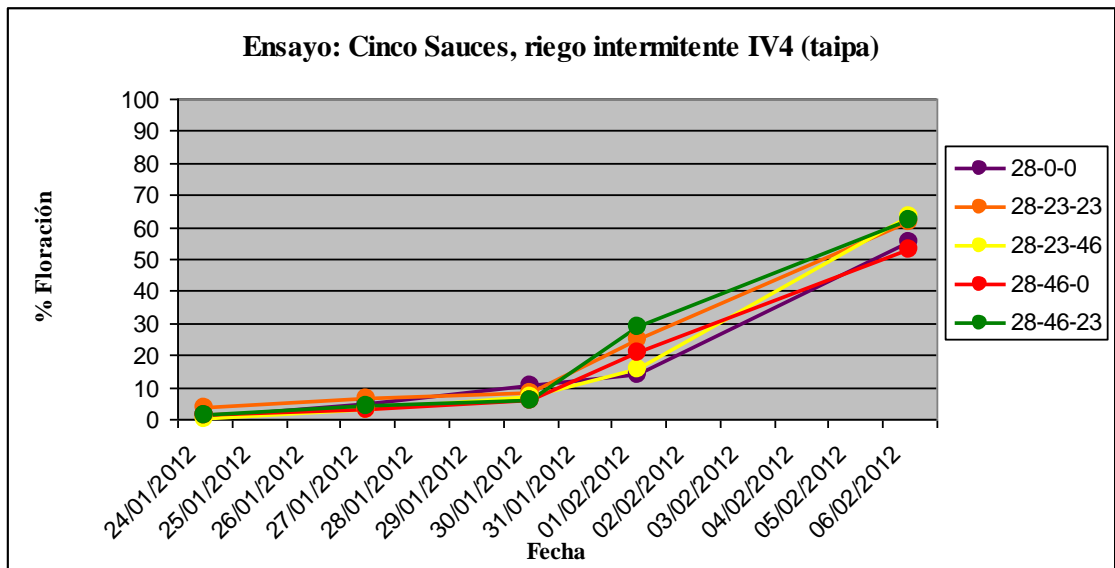


Figura no. 4

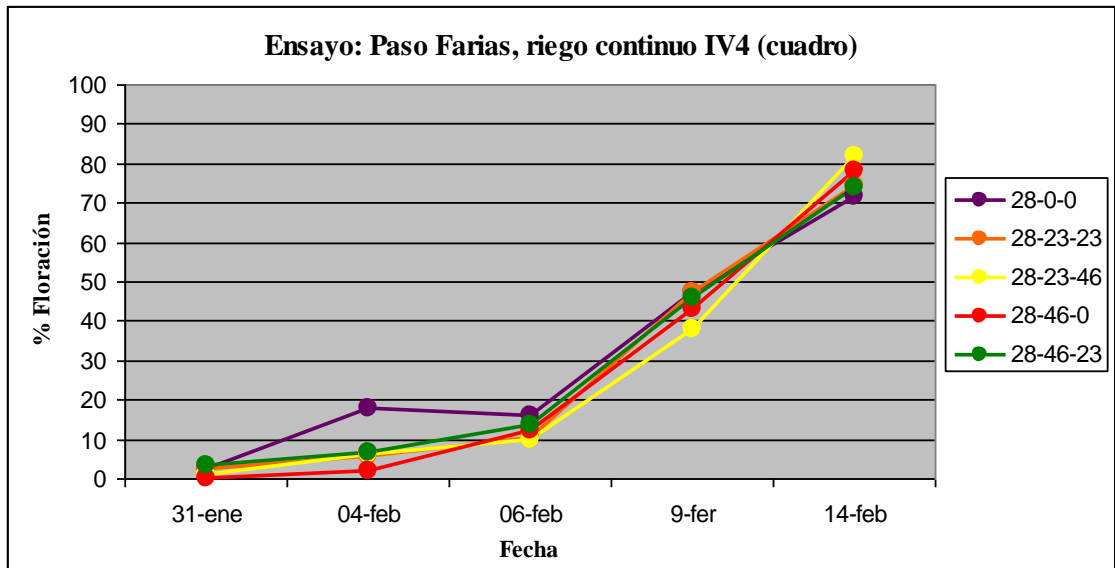


Figura no. 5

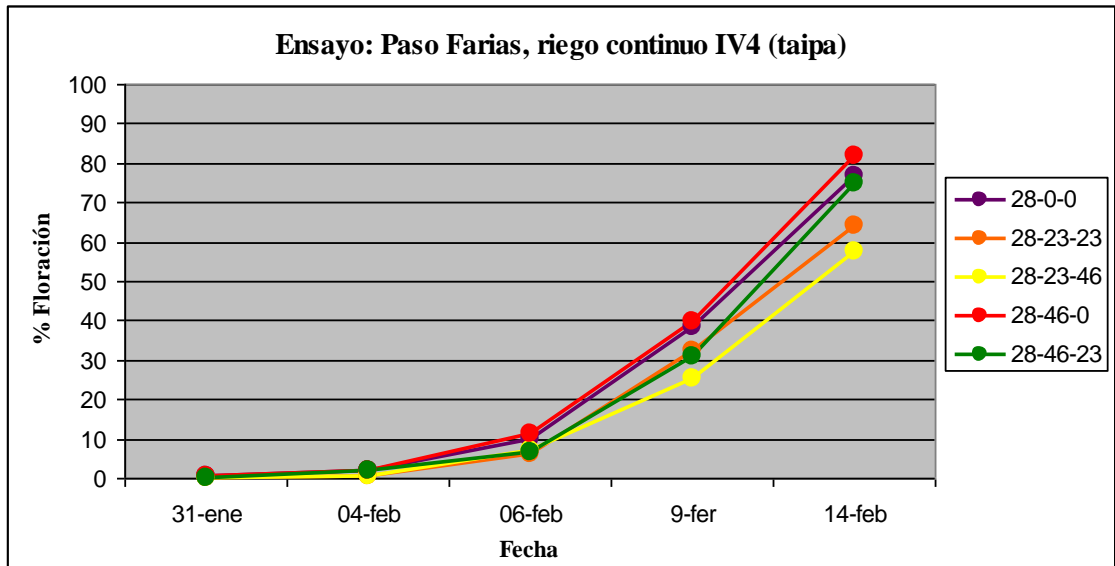


Figura no. 6



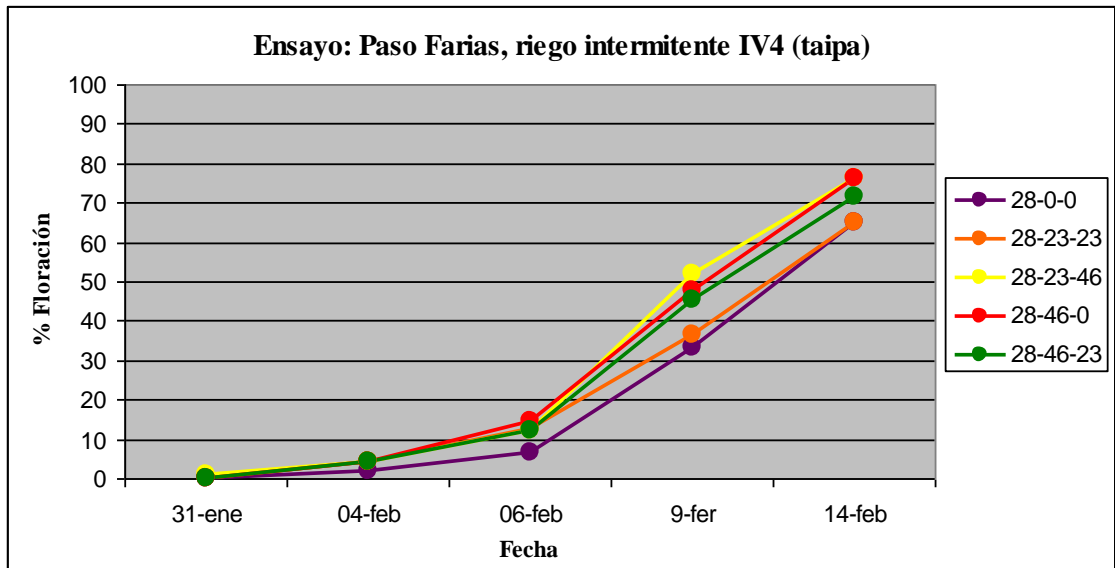


Figura no. 7

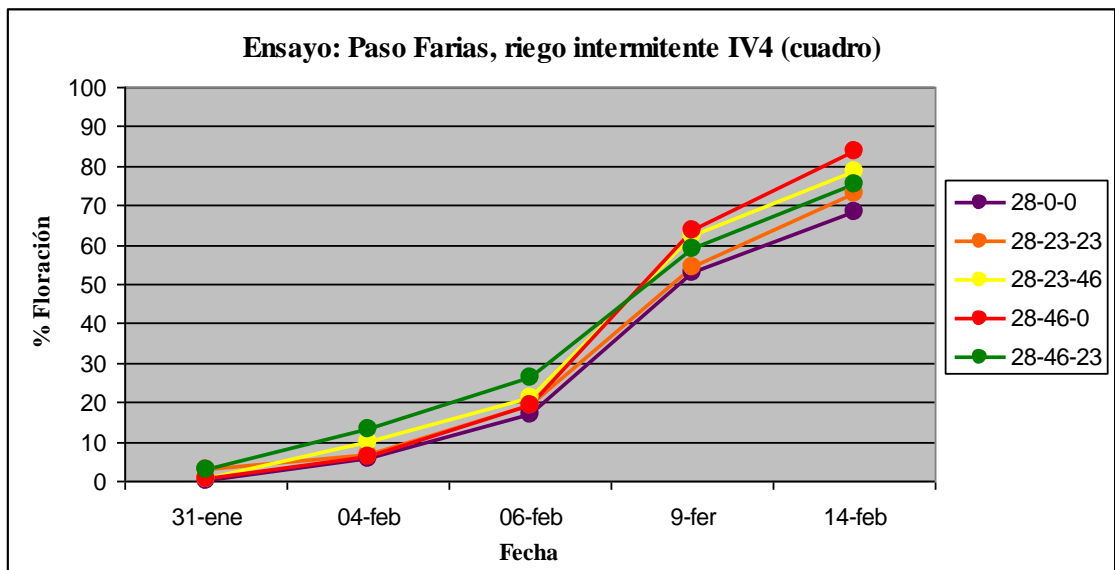


Figura no. 8

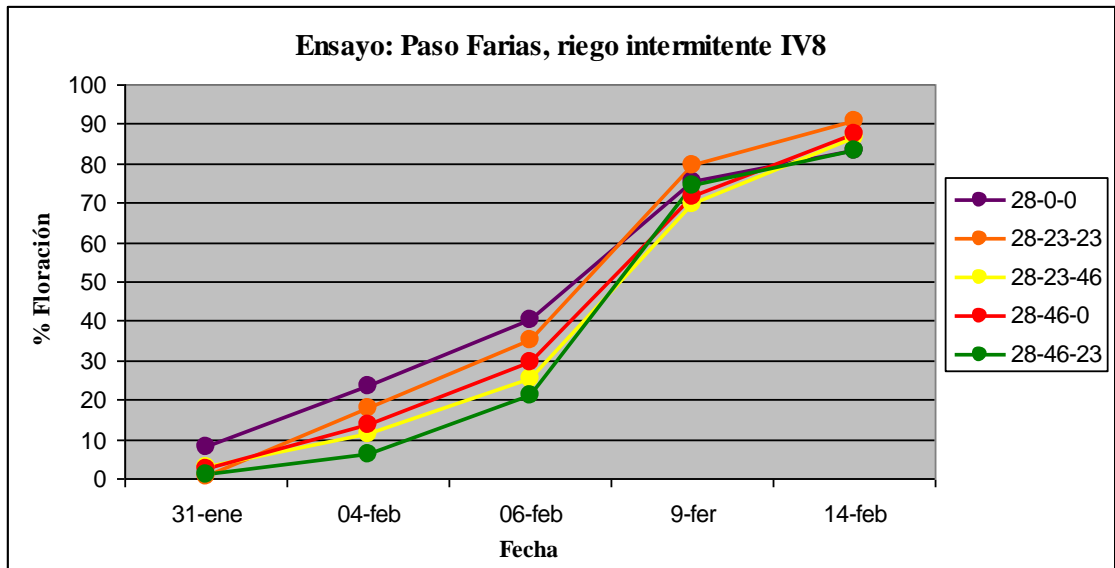


Figura no. 9