

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DE USO DE AGUA BAJO DISTINTOS MANEJOS
DE RIEGO EN LA VARIEDAD EL PASO 144 (*Oryza sativa*)

por

Federico CAMPOS BELTRAMI
José Ignacio FALERO RAMALLO

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

MONTEVIDEO
URUGUAY
2012

Tesis aprobada por:

Director: -----

Ing. Agr. Álvaro Roel

Ing. Agr. Guillermina Cantou

Ing. Agr. Guillermo Siri

Ing. Agr. Mario García

8 agosto de 2012

Fecha:

Autor: -----

Federico Campos Beltrami

José Ignacio Falero Ramallo

AGRADECIMIENTOS

Al director de la tesis Ing. Agr., MSc., PhD Alvaro Roel y a la Ing. Agr. Guillermina Cantou.

A los funcionarios de la Sección Suelos y Aguas: Julio Gorosito, Matias Oxley, Adán Rodríguez y José Correa.

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

Al Sr. Luis Casales de la Sección Manejo de Arroz.

Al Ing. Agr. Sebastián Martínez

A la Sra. Sully Toledo, Jefe de Referencia

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

A Facultad de Agronomía por esta posibilidad.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	4
2.1 CARACTERIZACIÓN DE “EL PASO 144”.....	4
2.1.1 <u>Origen</u>	4
2.1.2 <u>Características agronómicas</u>	5
2.1.3 <u>Rendimiento</u>	5
2.1.4 <u>Características y calidad de grano</u>	5
2.1.5 <u>Fertilización</u>	5
2.1.6 <u>Resistencia a enfermedades</u>	6
2.1.7 <u>Comportamiento frente a bajas temperaturas</u>	6
2.1.8 <u>Aspectos de manejo</u>	6
2.2 ESTRATEGIAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA.....	7
2.3 EFECTO DE LOS FACTORES CLIMÁTICOS EN LA PRODUCCIÓN DE ARROZ.....	8
2.3.1 <u>Efectos de la radiación solar en la etapa reproductiva y de llenado de grano</u>	9
2.3.2 <u>Efectos de la temperatura</u>	10
2.3.2.1 Efectos de la temperatura.....	10
2.3.2.2 Efecto de las bajas temperaturas.....	11
2.3.3 <u>Efecto de la altas temperaturas</u>	11
2.3.4 <u>Efectos de la humedad atmosférica</u>	11
2.4 EFECTO DEL MOMENTO DE INUNDACIÓN.....	12
2.4.1 <u>Plantas por m² y número de macollos</u>	12
2.4.2 <u>Producción de materia seca de parte aérea</u>	13
2.4.3 <u>Producción de materia seca de raíces</u>	14
2.4.4 <u>Altura de planta</u>	14

2.4.5	<u>Ciclo fenológico y días de riego</u>	15
2.4.6	<u>Rendimiento y sus componentes</u>	15
2.4.7	<u>Calidad de grano</u>	16
2.4.8	<u>Índice de clorofila</u>	17
2.4.9	<u>Enfermedades</u>	17
2.5	NECESIDAD DE BAÑOS.....	18
2.6	EFFECTO DEL DÉFICIT CONTROLADO Y RIEGO CONTINUO..	19
2.6.1	<u>Producción de materia seca</u>	20
2.6.2	<u>Producción de materia seca de raíz</u>	20
2.6.3	<u>Altura de planta</u>	22
2.6.4	<u>Índice de cosecha</u>	22
2.6.5	<u>Ciclo fenológico y días de riego</u>	22
2.6.6	<u>Rendimiento y sus componentes</u>	23
2.6.7	<u>Calidad de grano</u>	23
2.6.8	<u>Mejoras en manejo de fertilización</u>	23
2.7	CONSUMO Y PRODUCTIVIDAD DE AGUA.....	24
2.7.1	<u>Antecedentes internacionales</u>	24
2.7.2	<u>Antecedentes locales</u>	25
2.8	HIPÓTESIS Y OBJETIVO DE TRABAJO.....	26
2.8.1	<u>Hipótesis de trabajo</u>	26
2.8.2	<u>Objetivos de trabajo</u>	26
3.	<u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	27
3.1	<u>UBCACIÓN</u>	27
3.2	<u>SUELO</u>	27
3.3	<u>ELECCIÓN DE CULTIVAR</u>	27
3.4	<u>CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA</u>	28
3.4.1	<u>Heliofanía</u>	28
3.4.2	<u>Temperatura</u>	29
3.4.3	<u>Precipitaciones</u>	30
3.4.4	<u>Evaporación</u>	31
3.5	<u>ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y DISEÑO EXPERIMENTAL</u>	32
3.5.1	<u>Hipótesis</u>	33
3.5.1.1	Hipótesis estadísticas.....	33
3.5.1.2	Hipótesis biológicas.....	33
3.6	<u>TRATAMIENTOS</u>	33

3.7 MANEJO DEL CULTIVO.....	36
3.7.1 <u>Siembra</u>	36
3.7.2 <u>Emergencia</u>	36
3.7.3 <u>Baños</u>	37
3.8 DETERMINACIONES Y REGISTROS.....	37
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	41
4.1 EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE LA FENOLOGÍA..	41
4.2 CARACTERIZACIÓN MICROCLIMÁTICA.....	44
4.2.1 <u>Heliofanía</u>	44
4.2.2 <u>Temperatura</u>	45
4.2.3 <u>Días con temperaturas menores a 15°C</u>	45
4.3 MANEJO DEL AGUA.....	47
4.3.1 <u>Tratamiento IC 45</u>	48
4.3.2 <u>Tratamiento LV</u>	50
4.3.3 <u>Tratamiento RR</u>	52
4.4 EFECTO SOBRE EL CRECIMIENTO.....	55
4.4.1 <u>Número de plantas y panojas por m²</u>	55
4.4.2 <u>Producción de materia seca de parte aérea</u>	56
4.4.3 <u>Tasas de crecimiento</u>	58
4.4.4 <u>Relación parte aérea/raíz</u>	59
4.4.5 <u>Altura de planta</u>	62
4.5 COMPONENTES DEL RENDIMIENTO.....	63
4.6 CALIDAD MOLINERA.....	64
4.7 ENFERMEDADES.....	65
4.8 EFECTO SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DEL AGUA.....	66
4.8.1 <u>Rendimiento</u>	67
4.8.2 <u>Consumo de agua</u>	67
4.8.3 <u>Productividad del agua de riego</u>	69
4.8.4 <u>Productividad del agua de riego y precipitaciones</u>	69
5. <u>CONCLUSIONES</u>	71
6. <u>RESUMEN</u>	72
7. <u>SUMMARY</u>	74
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	76
9. <u>ANEXOS</u>	80

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Análisis de suelo.....	27
2. Tratamientos de riego.....	33
3. Manejo del cultivo.....	36
4. Baños realizados a cada tratamiento.....	37
5. Momento de los eventos fenológicos por tratamiento de riego.....	41
6. Efecto del tratamiento de riego sobre la fenología y los días de riego.....	43
7. Heliofanía veinte días previos y veinte días posteriores al período crítico del cultivo.....	44
8. Temperaturas medias y mínimas veinte días previos y veinte días posteriores al período crítico del cultivo.....	45
9. Fechas de riego e inundación de los tratamientos.....	49
10. Número de plantas, y panojas por m ² según tratamiento de riego.....	55
11. Producción de materia seca (kg/ha) por tratamiento de riego, en diferentes etapas fenológicas del cultivo.....	56
12. Tasa de crecimiento (kg/ha/día) por tratamiento de riego.....	58
13. Altura de planta (cm) por tratamiento de riego, en diferentes etapas fenológicas del cultivo.....	62
14. Efecto del tratamiento de riego sobre los componentes del rendimiento.....	63
15. Efecto del tratamiento de riego sobre la calidad molinera.....	64
16. Efecto del tratamiento de riego sobre las enfermedades del cultivo.....	65
17. Efecto del sistema de riego sobre el rendimiento, el consumo y la productividad del agua para la variedad El Paso 144 considerando agua de riego.....	66
18. Efecto del sistema de riego sobre el consumo y la productividad del agua, considerando el agua de riego y lluvia.....	70

Esquema No.

- | | |
|---|----|
| 1. Manejo del riego de los diferentes tratamientos..... | 34 |
| 2. Efecto del tratamiento de riego sobre el ciclo fenológico y días de riego..... | 42 |

Figura No.

- | | |
|---|----|
| 1. Horas de sol decádicas correspondientes a los años 2010/2011, 2009/2010 y Serie histórica 1973/2010..... | 28 |
| 2. Temperatura media decádica correspondiente a las zafras 2009/2010, 2010/2011 y S.H. 1973/2010..... | 29 |
| 3. Precipitaciones (mm) para las zafras 2010/2011, 2009/2010, Serie histórica 1973/2010..... | 30 |
| 4. Evaporación de tanque “A” para las zafras 2009/2010, 2010/2011 y Serie Histórica 1973/2010..... | 31 |
| 5. Días con temperaturas menores a 15°C durante el período comprendido entre 20 días previos y 20 días posteriores a floración..... | 46 |
| 6. Evolución de la humedad del contenido de humedad del suelo del tratamiento IC 45 medida con sensores TDR..... | 49 |
| 7. Evolución de la humedad del contenido de humedad del suelo del tratamiento IC 45 medida con sonda de neutrones..... | 49 |
| 8. Evolución de la humedad del contenido de humedad del suelo del tratamiento LV medida con sensores TDR..... | 51 |
| 9. Evolución de la humedad del contenido de humedad del suelo del tratamiento LV medida con sonda de neutrones..... | 51 |
| 10. Porcentaje de agua disponible en el suelo obtenido a través de balance hídrico FAO Penman – Montheith..... | 52 |
| 11. Evolución del contenido de humedad del suelo en tratamiento RR medida con sensores TDR..... | 53 |
| 12. Evolución del contenido de humedad del suelo en tratamiento RR medida con sonda de neutrones..... | 54 |
| 13. Tasas de crecimiento para distintas etapas del cultivo..... | 59 |
| 14. Relación parte aérea/raíz a primordio..... | 60 |
| 15. Relación parte aérea/raíz a 50% floración..... | 61 |
| 16. Consumo relativo de agua de riego según tratamiento..... | 68 |
| 17. Consumo absoluto de agua de riego según tratamiento..... | 68 |

1. INTRODUCCIÓN

El arroz es el segundo alimento más consumido a nivel mundial, después del trigo, constituyendo la base de la alimentación para muchas culturas culinarias, en especial la asiática, y la de algunas zonas de América Latina. Del total del arroz producido globalmente (530 millones toneladas/año) 90 a 92% se produce y consume en Asia, donde provee del 35 al 80% de las calorías consumidas (Bouman et al., 2001).

Por otra parte es el segundo cereal más producido, después del maíz. A diferencia de este último, el arroz cobra una mayor importancia en alimentación humana debido a los varios usos alternativos que ofrece el maíz.

Algunos historiadores afirman que el cereal es originario del sur-este de Asia y se cultiva hace más de 7000 años.

El cultivo del arroz en Uruguay, presenta la particularidad de realizarse bajo condiciones de inundación, por lo tanto el conocimiento cuantitativo del balance de agua de este cultivo, es muy importante para un uso eficiente de este recurso.

En nuestro país se distinguen principalmente tres zonas donde se cultiva este cereal: zona Este, Norte y Centro. La superficie sembrada fue de unos 195000 ha en la zafra 2010/2011 (Asociación de Cultivadores de Arroz, citada por Presidencia de la República, 2012). Del total del área, el 70% de la superficie corresponde al Este, 18% al Norte y 12% al Centro.

Aunque se desconoce la superficie potencial de riego en Uruguay, la superficie total apta para el cultivo del arroz se estima en 605000 ha, 64% en el Este, 22% en el Centro, 8% en el Norte y el 6% restante en otras áreas (FAO, 2000).

Los rendimientos promedios obtenidos en la zafra 2010-2011 fueron de 8.400 kg/ha según ACA, citado por Presidencia de la República (2012), y son actualmente el record a nivel de país. Los rendimientos han mostrado tendencia a crecer desde que se comenzó a sembrar arroz en el país.

En Uruguay la siembra de arroz se desarrolla mayormente en sistemas con rotaciones con pasturas, aunque se tiende a hacer un uso del suelo cada vez más intensivo en la fase agrícola. La alternancia del cultivo con la pasturas le permite gozar

de ventajas comparativas y diferenciarse a nivel mundial. El elevado uso de semilla de alta calidad por parte de los productores, junto al bajo uso de fertilizantes, herbicidas y escasa utilización de insecticidas, otorgan al sistema un elevado nivel de sustentabilidad. Todas estas características conforman una gran fortaleza al sistema de producción nacional.

El 60,8% del área se realiza sobre campo natural o diversos tipos de retorno, y sólo el 39,2% sobre rastrojos de arroz del año anterior.

Se caracteriza además por ser un cultivo de alto nivel de inversión, alrededor de 1700 u\$s por hectárea sembrada según estimaciones de la Asociación de Cultivadores de Arroz, citado por La Prensa (2011), no sólo por el costo alto operativo, sino los requerimientos de maquinaria, equipos, instalación de estaciones de bombeos, canales, caminos, puentes, construcción de represas para riego, etc.

Todo ello contribuye a que constituya una importante fuente de mano de obra, generando gran impacto social y económico, permitiendo el desarrollo de pequeñas industrias y servicios colaterales que permiten la dinamización de pequeños centros poblados ubicados entorno a los centros de producción. Es de destacar que además cobra mayor importancia, si se considera que el cultivo se desarrolla en departamentos y zonas donde se realiza ganadería extensiva sin tradición agrícola.

Si bien nuestro país es muy rico en recursos hídricos, hoy en día, el agua se torna un factor limitante para la expansión del área sembrada. El importante costo que constituye el agua de riego, como el costo de oportunidad de utilizar elevadas cantidades de agua sacrificando otros usos alternativos, hacen que, optimizar la productividad de este recurso y hacer un uso más eficiente, adquiera cada vez más relevancia y se convierta en un tema prioritario y estratégico en el sector. Se estima que el agua para regar una hectárea de cultivo de arroz tiene un costo de 19,8 bolsas de arroz/ha.

El manejo del riego con sistemas de déficit controlado, así como el adelanto del inicio del riego son prácticas culturales que cobran importancia desde el punto de vista de la economía del recurso hídrico, teniendo implicancias importantes además sobre el manejo de malezas, ciclo del cultivo, momento de cosecha y condiciones de cosecha.

Siguiendo la línea de trabajo desarrollada a partir de la zafra 2009-2010, en esta zafra se repitió el ensayo que evalúa distintos manejos de riego con el fin de obtener información respecto de la productividad de uso de agua en el cultivo de arroz.

El objetivo del trabajo es evaluar manejos de agua alternativos para el cultivar El Paso 144 (*Oryza sativa*) de tipo índico, que permitan hacer un uso más eficiente de agua, manteniendo o maximizando la productividad.

2 . REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 CARACTERIZACIÓN DE EL PASO 144

2.1.1 Origen

El cultivar se seleccionó en el año 1978 en la Estación Experimental del Este a partir de la población proveniente del CIAT, P-790-B4-4-1T, de la cual es originaria también el cultivar brasileño BR (IRGA) 409.

2.1.2 Características agronómicas

Es un cultivar de origen tropical, de planta tipo semienano, de alto potencial de rendimiento.

Presenta alto macollaje, con hojas erectas, de color verde claro y pilosas.

Presenta buen establecimiento aún bajo condiciones desfavorables o con cero laboreo.¹

La altura puede variar entre 0,75 y 1,10 metros, lo cual escapa a las características de plantas semienanos típicos.²

Su ciclo desde siembra a comienzos de floración es de 95 días.

Su capacidad de acortar el ciclo al atrasar la fecha de siembra puede variar desde 110 días a 74 días en siembras de octubre y diciembre respectivamente.

¹ Borghi, E. 2010. Cultivares de arroz (sin publicar).

² Chebataroff, N.; Blanco, P.; Ávila, S. 1987. Nuevos cultivares de arroz en certificación (sin publicar).

2.1.3 Rendimiento

“El Paso 144” es un cultivar de alto rendimiento; su producción promedio en ensayos en el campo experimental Paso de la Laguna y regionales varietales en 6 años fue de 8275 kilogramos por hectárea, 16% superior a Bluebelle, llegando en algunos casos a 11000 kilogramos por hectárea. ²

2.1.4 Características y calidad de grano

El grano es de glumas claras, pilosas y provistas de una arista pequeña de largo variable.

Es más largo y pesado que el de Bluebelle, y BR (IRGA) 409. Sus dimensiones, pulido con molino Mac Gill No. 1, son de 7,03 mm de largo y 3,21 de relación largo/ancho.

El peso de 1000 granos es de 26,5 gramos.

La calidad molinera es variable, promediando 58,9% de grano entero, y 7,9% de panza blanca (granos con mancha blanca independientemente de su dimensión con respecto al grano, base arroz cáscara), por lo que su grano es menos vítreo que el BR (IRGA) 409.

Las propiedades fisicoquímicas son diferentes de los granos largos americanos, si bien su contenido de amilosa es intermedio (23,4%), su temperatura de gelatinización es baja, similar a la EEA 404.

En siembras tardías o fertilización excesiva presenta manchado de glumas y granos, provocado por hongos secundarios.

2.1.5 Fertilización

Posee baja respuesta a nitrógeno, desarrollando área foliar suficiente y altos rendimientos a bajas dosis de ese nutriente o sin fertilización.

En ensayos realizados en suelos solod de la unidad “La Charqueada” en 1984-1985, su producción fue de 9000 kilogramos por hectárea en todas las dosis probadas, de 0-135 unidades de nitrógeno por hectárea.

En 1981-1982 tampoco se encontró respuesta a nitrógeno con una producción promedio de 10226 kilogramos por hectárea, insinuando un máximo con 60 unidades por hectárea, al igual que 1982-1983.

En ensayos sobre suelos más pobres al norte de la cuenca de la laguna Merín, en 1986-1987 existió respuesta a dosis de 40 unidades de nitrógeno por hectárea.³

2.1.6 Resistencia a enfermedades

La reacción de este cultivar a *Pyricularia oryzae* en camas de infección ha variado entre moderadamente susceptible a resistente. Con respecto a enfermedades del tallo, es moderadamente susceptible a *Rhizoctonia oryzae* y susceptible a *Sclerotium oryzae* al ser inoculado. “El Paso 144” es moderadamente susceptible a *Cercospora*.²

2.1.7 Comportamiento frente a bajas temperaturas

Debido a su origen tropical “El Paso 144” es susceptible a bajas temperaturas, por lo que debe sembrarse temprano, hasta mediados de noviembre.

Las siembras tardías tienen alta incidencia de esterilidad y de manchado de granos.

2.1.8 Aspectos de manejo

La suma térmica para alcanzar inicio de floración para el cultivar “El Paso 144” es de 1186 grados días, siendo mayor que los cultivares sembrados actualmente (Deambrosi et al., 1997).

2.2 ESTRATEGIAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA

El agua es un recurso que se vuelve cada vez más escaso en el mundo, debido a la disminución de su disponibilidad y calidad (por contaminación, eutrofización y salinización) y a la creciente competencia que ejercen otros sectores como el urbano y el industrial (Cantou y Roel, 2010).

Según Marcolin et al. (2011) una de las formas de reducir el volumen de agua utilizado por el cultivo es mantener una lámina baja, esta práctica evita el escurrimiento superficial, facilita el almacenamiento de agua de precipitaciones. En la misma publicación se afirma que la planta se desarrolla normalmente en ausencia de lámina de agua permanente mientras el suelo permanezca saturado para no causar deficiencia hídrica en el cultivo y evitar infestación de malezas.

El manejo del riego en el cultivo de arroz es actualmente altamente ineficiente en el uso del agua (Bhuiyan et al., 1995). Con la disponibilidad del recurso hídrico reducida para la agricultura y la demanda de arroz incrementada, su uso en sistemas de producción de arroz debe ser reducido y su productividad incrementada (Belder et al., 2004), manteniendo un alto rendimiento de arroz (Bouman et al., 2006).

Según Cantou y Roel (2010), algunas estrategias para mejorar el uso de este recurso, serían sistematización de la chacra, construcción de las taipas en forma anticipada, reducción de las pérdidas de agua por infiltraciones laterales (escurrimiento superficial) y percolación, reducción del período de riego, control de la lámina de agua, utilización de variedades de arroz de ciclo más corto, y uso de sistemas de riego intermitente.

Además algunos autores citan como estrategias para mejorar la productividad de la misma, incrementos en rendimientos, a base de aumentar la resistencia a frío de los cultivares, agricultura de precisión y la mejora en el establecimiento de los cultivos. Desde el punto de vista de la mejora de resistencia al frío de los cultivares, se podría esperar una reducción en el espesor de la lámina de agua, ya que no sería necesaria tal protección a bajas temperaturas, reduciendo los requerimientos de agua (Humphreys et al., 2006).

Según Bueno et al. (2009) una estrategia para reducir el uso de agua en el cultivo de arroz, y aumentar la eficiencia de uso de la misma es usar cultivares de ciclo corto, pero sin reducir el potencial de rendimiento de los mismos, debido a que los cultivares de ciclo corto, requieren menor período de riego.

Según Belder (2004) los sistemas que alternan períodos inundados y no inundados ahorran agua en comparación con inundación continua. El efecto de este tipo de tratamientos en distintos ensayos ha mostrado comportamiento variable.

Si bien Uruguay es un país rico en recursos hídricos, tanto en calidad como en cantidad, hoy en día el agua es un factor limitante para la expansión del cultivo de arroz.

El actual escenario ha motivado a que el uso eficiente del agua y la optimización de su productividad se conviertan en un tema prioritario y estratégico para el sector arrocero, que debe incluirse dentro de los planes de investigación (Cantou y Roel, 2010).

2.3 EFECTO DE LOS FACTORES CLIMÁTICOS EN LA PRODUCCIÓN DE ARROZ

La producción del cultivo de arroz varía entre años, fundamentalmente por las condiciones climáticas.

Según Steinmetz, citado por Andrade et al. (2000), las variables climáticas más influyentes en el rendimiento del cultivo son: ocurrencia de bajas temperaturas, disponibilidad de radiación solar y precipitaciones.

Es importante para la realización de este trabajo revisar los antecedentes que existen acerca de cómo afectan las variables climáticas al rendimiento, debido a que según información generada previamente, se sabe, que inundaciones más tardías y/o manejos de riego que retrasen la floración del cultivo exponen al mismo a una menor oferta climática.

2.3.1 Efectos de la radiación solar en la etapa reproductiva y de llenado de grano

Según Motta y Gomes, Infeld y Silveira, Infeld, citados por Andrade et al. (2000), la eficiencia de fotosíntesis y producción de materia seca son directamente influenciadas por los altos índices de radiación solar y la máxima cantidad de luz en la época de floración, además genera altos rendimientos del cultivo.

Según Bedel, citado por Andrade et al. (2000), la deficiencia de radiación solar reduce la cantidad de granos por panoja, independientemente del estadio fenológico en que ella ocurra. El efecto sería más pronunciado cuando ocurre en la fase reproductiva del cultivo.

El mismo autor afirma que el contenido de carbohidratos de la planta es directamente dependiente de la radiación solar, y el desarrollo de los granos depende del nivel de carbohidratos de la planta. Consecuentemente el número de granos de una panoja dependerá del nivel de radiación solar.

Basado en experimentos realizados en Texas, Stansel, citado por De Datta (1981), sugieren que el período crítico de mayor requerimiento de energía solar de la planta de arroz, se extiende desde diferenciación del primordio floral hasta 10 días antes de la maduración. Estos autores encontraron que en los trópicos, la correlación entre radiación solar desde la diferenciación del primordio floral hasta madurez del cultivo y el rendimiento en grano fue significativamente alto.

Se han observado reducciones de hasta un 70% en la productividad de arroz cuando este es sometido a niveles bajos de radiación, siendo estas reducciones mayores y más frecuentes durante la fase reproductiva y de llenado de grano (Yoshida y Parao, citados por Andrade et al., 2000).

Stansel, citado por Arguissain (2006), muestra que la máxima disponibilidad de radiación resulta crítica 21 días antes y 21 días después de floración (DDF) para obtener los máximos rendimientos. Además menciona que los rendimientos se ven disminuidos en 6,5 % por cada 1% de reducción en la disponibilidad de radiación respecto al máximo posible.

2.3.2 Efectos de la temperatura

2.3.2.1 Efecto de las bajas temperaturas

Bajas temperaturas durante el desarrollo temprano de la microspora pueden reducir dramáticamente el rendimiento incrementando la esterilidad del polen (Williams et al., citados por Humphreys et al., 2006).

Shimizu et al., citados por Benavidez (2006), determinaron que el desarrollo de las espiguillas es afectado por la ocurrencia de bajas temperaturas, y documentan un amplio rango de anomalías morfológicas de las espiguillas tales como:

- 1) Formación de brácteas foliares.
- 2) Acortamiento del primordio.
- 3) Disminución del número de ramificaciones primarias y secundarias.
- 4) Suspensión del crecimiento de raquis y espiguillas.
- 5) Aumento del número de órganos por espiguillas (varias glumelas, duplicación de estambres, etc).
- 6) Estructuras bisexuales.
- 7) Falta de órganos reproductivos.

Las bajas temperaturas, según este mismo autor, no sólo provocan malformaciones en estructuras que se están formando, sino que además provocan degeneración en estructuras ya formadas.

Otro momento en que el cultivo es muy sensible al frío es en la etapa de “embarrigado” (la panoja ocupa el interior de la vaina de la hoja bandera), específicamente en el estado de microspora, donde se observa machoesterilidad como resultado de la baja dehiscencia de las anteras y una limitada cantidad de polen.

Otro efecto del frío según este autor es la imposibilidad del grano de polen de germinar.

Satake et al., citados por De Datta (1981), encontraron que el estadio más sensible del cultivo a bajas temperaturas es después de la división meiótica en la formación de la microspora.

Según Nishiyama, citado por De Datta (1981), las temperaturas mínimas críticas para inducir esterilidad en arroz varían entre 15-17°C en variedades tolerantes al frío; y en aquellas sensibles al frío entre 17 y 20°C.

Según Buriol (1998) temperaturas entre 15 y 17°C son consideradas como niveles térmicos por debajo de los cuales la fecundación de las flores de arroz se ve afectada negativamente; y la intensidad de los daños es proporcional a la disminución de la temperatura y al tiempo en que se expone a las flores a estas bajas temperaturas (Satake, Board et al., Terres y Galli, citados por Buriol, 1998).

Buriol et al., citados por Andrade et al. (2000), indican que la ocurrencia de temperaturas inferiores o iguales a 15°C durante apenas una hora es suficiente para que cese la formación de polen en plantas con primordio floral en iniciación.

Según Netto et al., citados por Andrade et al. (2000), determinaron que la ocurrencia de bajas temperaturas en la fase floración y prefloración de arroz, dependiendo del cultivar y de las condiciones ambientales puede causar esterilidad de las espiguillas y consecuentemente disminución de la productividad.

Nedel, citado por Andrade et al. (2000), determinó que la ocurrencia de temperaturas por debajo de 15°C pueden causar una reducción de hasta un 30% del rendimiento en Río Grande del Sur, Brasil.

2.3.2.2 Efecto de las altas temperaturas

Las altas temperaturas pueden producir esterilidad por un pobre dehiscencia de polen o por desecación de los estigmas (Benavidez, 2006).

Satake, citado por Benavidez (2006), demuestran que con temperaturas entre 35 y 38°C se ve afectada la viabilidad o dehiscencia del polen.

2.3.3 Efecto de la humedad atmosférica

Los efectos de la humedad relativa en los trópicos son generalmente confundidos con los efectos de la energía solar y temperatura, por lo tanto, no se atribuye importancia a la alta correlación negativa entre humedad relativa y rendimiento de grano. Sin embargo, un largo período de rocío, a menudo causa un aumento de la

incidencia de enfermedades en el arroz. En tales casos los efectos de la alta humedad relativa son usualmente confundidos por el régimen de temperatura de la noche, la cual causa un período largo de rocío (De Datta, 1981).

Según Chunhai y Zongtan (1990), precipitaciones, alta humedad relativa y bajas temperaturas disminuyen la fertilidad de las espiguillas del cultivo de arroz tipo indico y podría incrementar el porcentaje de espiguillas vacías y reducir los rendimientos. Estos autores, estudiaron el efecto del tiempo húmedo en floración en 12 cultivares índicos encontrando que el porcentaje de espiguillas fértiles se redujo con incremento en la humedad y reducción de la temperatura. El factor meteorológico mas importante fue la humedad relativa ($r= 0,96$), seguida por la temperatura media tres días después de floración (DDF) .

2.4 EFECTO DEL MOMENTO DE INUNDACIÓN

Dentro del Proyecto Riego del Programa Arroz de INIA Treinta y Tres se ha trabajado con el objetivo de estudiar el efecto de diferentes manejos de riego en el comportamiento productivo de los diferentes materiales genéticos disponibles a nivel comercial.

Algunos de los aspectos en los que se ha trabajado son: momentos de inundación, altura de lámina de inundación, falta de riego en diferentes etapas fenológicas y momento de retiro de agua para cosecha.

A continuación se presentan resultados nacionales sobre momento de inundación y sus efectos sobre las variables del cultivo.

2.4.1 Plantas por metro cuadrado y número de macollos

Molina et al. (2007) reportaron en la variedad INIA Olimar que no hubo diferencias significativas en la cantidad de plantas y tallos a 9 y 44 días después de emergencia, y a floración; estos autores afirman que los tratamientos de inundación a 15, 30, 45 y 60 días después de emergencia (DDE), así como un tratamiento denominado 15-30-45 (en el que se inunda desde los 15 a los 30 DDE, y se reinicia el riego a los 45 DDE) no tuvieron un efecto consistente en el macollaje de las plantas.

Según Cantou et al. (2008) no hubo diferencias en el número inicial de plantas variando el momento de inundación desde 15 a 60 DDE. Contaron un número elevado de plantas 10 días después de emergencia con 446 plantas/m² para INIA Olimar y 444 plantas/m² para El Paso 144, ello fue debido a una muy buena implantación del cultivo con una recuperación de plantas de 70%.

Los autores resaltan que se pudo observar un menor desarrollo inicial del cultivo y un retardo en el momento de macollaje en los tratamientos de inundación de 45 a 60 DDE. A su vez estos no tuvieron un efecto consistente sobre el número de tallos/unidad de superficie. A cosecha los tratamientos extremos 15 y 60 DDE fueron los que presentaron menor número de panojas/m².

Cantou et al. (2009) reportaron que no hubieron diferencias significativas en el número de plantas 10 días después de emergencia en tratamientos con inundación continua, haciendo variar las fechas de inundación desde 15 a 60 DDE. En este mismo ensayo no hubo efecto consistente en el número de macollos producidos, si bien también pudieron apreciar que en el campo los cultivos inundados a 45 y 60 DDE presentaron un menor desarrollo inicial y un retardo en el momento que se inició el macollaje.

2.4.2 Producción de materia seca de parte aérea

Según Cantou et al. (2008) los tratamientos de riego no afectaron la producción de materia seca alcanzada a primordio y floración, aunque si encontraron un efecto significativo a cosecha. A cosecha el tratamiento 60 DDE fue 14% superior al resto, aunque los resultados no fueron agronómicamente claros.

En un análisis por variedad se determinó que para el Paso 144 el efecto del tratamiento de riego fue más apreciable en las primeras etapas del cultivo, si bien no existieron diferencias significativas, se registró una disminución en la biomasa producida con el atraso en la inundación. La menor acumulación fue compensada en el período de floración a cosecha, logrando superar los tratamientos más tardíos a los tempranos.

Según Molina et al. (2007) el momento de inundación afectó significativamente la producción de materia seca a lo largo de todo el ciclo del cultivo, presentando mayor producción los tratamientos inundados temprano. A inicio del cultivo, las ventajas en producción de materia seca fueron a favor del tratamiento inundado a 15 días después de

emergencia, situación que se revirtió en los muestreos a primordio, floración y cosecha, logrando mayores producciones los tratamientos de inundación a 45 y 60 DDE. Esta diferencia fue atribuida por los autores a los días transcurridos a primordio (período entre 44 días después de emergencia a primordio) y no a las tasas de crecimiento de los cultivos bajo distintas fechas de inundación.

Estos mismos autores observaron que el tratamiento inundado a los 15 DDE a los 44 DDE el cultivo había cubierto todo el suelo y las entre hileras estaban cerradas, a diferencia de los demás tratamientos.

Cantou et al. (2009) determinaron diferencias en la acumulación de materia seca en diferentes momentos de inundación. En las determinaciones realizadas a inicios de cultivo 40 DDE, tuvieron ventaja los tratamientos de inundación temprana. En las determinaciones que realizaron a primordio, los inundados más tarde (45 y 60 DDE) tuvieron mayor producción de materia seca. Estas diferencias las atribuyeron al efecto del momento de inundación sobre la fenología del cultivo (cuanto más tarde se inundó, más días demoró en llegar a primordio), pero además a una mayor tasa de crecimiento diario durante el período entre 40 DDE hasta primordio en los tratamientos inundados más tarde.

2.4.3 Producción de materia seca de raíces

En el mismo ensayo citado previamente por Molina et al. (2007) la materia seca de raíces producida a primordio se comporta de manera similar a la parte aérea, logrando la mayor producción de la misma en el tratamiento inundado a los 60 DDE.

2.4.4 Altura de planta

Molina et al. (2007) determinaron que la altura de planta tiene una tendencia similar a la materia seca, es decir, que a medida que se desarrolla el cultivo, las notorias diferencias iniciales van disminuyendo entre los tratamientos.

Según Cantou et al. (2008) tanto la variedad INIA Olimar como El Paso 144 tuvieron efecto significativo sobre la altura de planta durante el ciclo del cultivo. Inicialmente los tratamientos de riego temprano tienen ventajas, la cual va disminuyendo a medida que pasa el ciclo del cultivo y a cosecha el tratamiento de inundación 60 DDE logró superar al resto de los tratamientos.

En el ensayo llevado a cabo en la U.E.P.L por Cantou et al. (2009) el momento de inundación tuvo efectos significativos sobre esta variable. El tratamiento inundado más temprano (15 DDE) superó en todos los muestreos a los demás tratamientos (30, 45, 60 DDE).

2.4.5 Ciclo fenológico y días de riego

Según Cantou et al. (2008) el adelantamiento de la inundación produce un acortamiento del ciclo para las variedades INIA Olimar y El Paso 144. En este ensayo el tratamiento inundado a los 45 DDE tuvo 21 días más de ciclo que el tratamiento inundado a los 15 DDE.

Respecto a la modificación en los días de riego, haciendo variar fechas de inundación desde 15 a 60 DDE, Cantou et al. (2009) encontraron que el hecho de inundar el cultivo más temprano aumenta el número de días de riego, pero este aumento no es igual a la diferencia en días que hubo entre los momentos de inundación por el efecto que tiene dicha variable en el largo del ciclo.

2.4.6 Rendimiento y componentes del rendimiento

Lavecchia et al. (2004) en el departamento de Tacuarembó utilizando tres momentos de inundación en la variedad INIA Olimar: 15 DDE, inundación intermitente 25 DDE hasta los 33 DDE y volver a inundar a los 41 DDE y un tratamiento de inundación tardía a los 41 DDE, demuestra que hay una respuesta en rendimiento al momento de inundación, observando como mejor tratamiento la inundación temprana (15 DDE), unos 600 kg superior a la inundación tardía e intermitente.

Al igual que en los ensayos experimentales realizados en las zafra 1999-2000 en las variedades INIA Tacuarí, INIA Caraguatá y El Paso 144, y los de la zafra 2007-2008 en las variedades INIA Olimar y El Paso 144, el cultivo de arroz, logró mantener similares niveles productivos, independientemente de los momentos de inundación a que fueron sometidos, mostrando una cierta plasticidad a los diferentes manejos de riego utilizados (Cantou et al., 2009).

Cantou et al. (2009) atribuyen esta plasticidad a las buenas condiciones climáticas existentes durante la etapa de llenado de grano, en dicha zafra El Paso 144

rindió 10741 kg/ha en promedio. También determinaron que ninguno de los componentes del rendimiento presentó diferencias significativas en sus valores debido a los tratamientos de riego evaluados, a excepción del número de panojas/m². Los tratamientos que presentaron mayor número de panojas fueron en el tratamiento (15-30-45) y el inundado 30 DDE.

En el ensayo llevado a cabo por Cantou et al. (2009) el rendimiento del cultivar “El Paso 144” fue de 12390 kg/ha, no presentó diferencias significativas en rendimiento debido a las diferentes fechas de inundación, que fueron desde 15 a 60 DDE.

En el mismo ensayo, en lo que respecta a los componentes del rendimiento, los tratamientos que presentaron mayor número de granos/panoja fueron los que presentaron mayor esterilidad de granos, mostrando determinada compensación entre los componentes de rendimiento. Esta situación se presentó para la variedad INIA Olimar, mientras que “El Paso 144” no presentó diferencias significativas en porcentaje de esterilidad.

2.4.7 Calidad de grano

Roel et al. (2005) no encontraron diferencias significativas en blanco total en la variedad INIA Olimar.

Según Molina et al. (2007) trabajando en la variedad INIA Olimar el momento de inundación no afectó los porcentajes de blanco total. Para porcentaje de grano entero y yeso se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, siendo los tratamientos de inundación muy temprana (15 DDE) e inundación muy tardía (60 DDE) los que presentaron menores porcentajes de grano entero (61,6% y 60,6% respectivamente), aunque de todas formas están por encima de la base de comercialización de arroz.

Cantou et al. (2009) en INIA Olimar registraron diferencias significativas entre los tratamientos de riego en los porcentajes de granos enteros y yesados, aunque para ambos parámetros, todos los valores se encuentran por encima de la base de comercialización del arroz (58% y 6%) para entero y yesado, respectivamente.

2.4.8 Índice de clorofila

Según Cantou et al. (2008) el tratamiento de inundación 60 DDE presentó los valores más altos durante todo el ciclo, en las determinaciones realizadas a fecha fija estos valores pueden atribuirse a que los distintos tratamientos estaban en distintos estados fenológicos y con diferentes producciones de materia seca, por lo que pudo haber un efecto dilución de nitrógeno sobre los tratamientos que presentaban más materia seca. Estos valores son inferiores a los observados en la zafra 2006-2007 y están por debajo de los valores críticos a primordio de 37 y 40 respectivamente según Turner et al., Singh et al., citados por Cantou et al. (2008).

En el ensayo llevado a cabo por Cantou et al. (2009), se encontraron diferencias significativas en lecturas realizadas hasta 77 DDE, donde los valores más altos se obtuvieron en los tratamientos inundados más tarde.

2.4.9 Enfermedades

En el ensayo llevado a cabo por Molina et al. (2007) no existieron diferencias significativas en los niveles de infección para las enfermedades *Rhizoctonia oryzae* y *Sclerotium oryzae*, aunque la inundación temprana presentó niveles superiores para este último patógeno comparando con inundaciones tardías.

Según Cantou et al. (2009), para *Sclerotium oryzae*, si bien detectaron diferencias entre tratamientos con momentos de inundación diferente, los valores del índice para esta enfermedad fueron bajos (promedio general de 26%), por lo que se esperaba que no afectara el rendimiento.

Para *Rhizoctonia* también detectaron diferencias significativas en diferentes momentos de inundación, con una tendencia a que se presente un mayor índice de la enfermedad en los tratamientos inundados más tarde (45 y 60 DDE).

2.5 NECESIDAD DE BAÑOS

Numerosos trabajos han sido publicados en el área de investigación sobre fechas de inundación en el cultivo de arroz y su efecto sobre la eficiencia de uso de agua, así como sus componentes (rendimiento en grano y consumo de agua).

A medida que la inundación se establece más tarde, se ha demostrado que el cultivo necesita de mayor número de baños para: promover la emergencia, homogeneizar el cultivo según Cantou y Roel (2010) y reducir el estrés hídrico según Roel et al. (1996) pudiendo incluso ahorrarse este tipo de manejo en inundaciones tempranas.

En ensayos llevados a cabo en la U.E.P.L de INIA Treinta y Tres por Roel en las zafra 96/97, 97/98 y 98/99, en dos de los tres años de ensayos, los tratamientos de inundación temprana 15 DDE requirieron mayor cantidad de agua para mantener la lámina una vez establecida, pero inundaciones tardías 45 DDE requirieron baños que no fueron necesarios en inundaciones tempranas, determinando que inundaciones tardías tuvieron mayores consumos totales de agua. Para el promedio de los tres años, el gasto extra de mantener durante más tiempo la lámina de agua fue de 372 m³/ha; lo cual fue significativamente menor que el agua consumida por concepto de baños inundación tardía, que fue en promedio 1753 m³/ha.

En ensayos con arroz pregerminado, llevados a cabo por Roel (1996) en la estación experimental de Beaumont, Texas, se evaluaron dos manejos de riego conocidos como Pin-Point (drenar la chacra 24 horas después de la siembra durante 3 días y luego reinundarla hasta cosecha) y el otro, sistema tradicional de baño-inundación, con baños sólo cuando fuera necesario. El sistema de baño-inundación requirió mayor cantidad de agua que el sistema Pin-Point a pesar de que este último estuvo inundado en un período más prolongado, quedando demostrada la ineficiencia del baño, y que el gasto por este concepto puede ser importante.

2.6 EFECTO DEL DÉFICIT CONTROLADO Y RIEGO CONTINUO

Bouman et al. (2001) expresa el riesgo asociado a técnicas de ahorro de agua respecto a las posibles reducciones en rendimiento, debido a la posibilidad de que el cultivo sufra estrés hídrico.

En este artículo el autor hace un resumen sobre resultados obtenidos en varios experimentos de Filipinas e India y consistentemente dice que el rendimiento se ve afectado por un mayor período de sequía. También destaca que no hay diferencias significativas en rendimiento en tratamientos que tienen suelo saturado comparado con tratamientos con lámina de agua. En todos los experimentos analizados el rendimiento bajó cuando el potencial de agua del suelo cayó de 0 a - 500 mbar.

La reducción en los rendimientos relativos fue menor que la reducción en consumo relativo de agua, esto quiere decir que la productividad del agua kg/m^3 aumentó en tratamientos que buscan ahorrar agua comparados con manejos que mantienen de 5 a 10 cm de lámina de agua.

En experimentos realizados en China, se logró ahorrar 37% de agua, con el sistema de riego intermitente, en un régimen similar al riego restrictivo utilizado para el ensayo 2010/2011 en la Unidad Experimental Paso de la Laguna (Feng et al., 2007).

Numerosos estudios alrededor del mundo muestran que cultivos de arroz con riego intermitente comparados con tratamientos de riego continuo, redujeron su rendimiento 10-40% cuando el potencial de agua del suelo entre 10-20cm de profundidad fue menor a -10 hasta -30kPa, y la reducción en rendimiento estaba más relacionada a la duración del estrés hídrico que a la etapa fenológica en que se producía el estrés (Bouman y Tuong, citados por Humphreys et al., 2006).

Con riego intermitente durante la fase vegetativa, y continuo comenzando dos semanas antes de la iniciación floral, tanto la calidad como el rendimiento son favorables respecto a un manejo de agua convencional (Heenan y Thompson, citados por Humphreys et al., 2006). Alcanzándose ahorros de alrededor del 25% del total de agua utilizado, con una importante reducción en la percolación.

Por lo tanto, considerables ahorros de agua pueden ser alcanzados sin penalizar el rendimiento, retrasando el momento de inundación permanente hasta poco tiempo previo a la iniciación floral (Humphreys et al., 2006).

Sin embargo estos trabajos fueron realizados en regiones con suelos relativamente bien drenados, es por ello que el ahorro de agua tal vez haya sido sobreestimado, respecto a lo que puede alcanzarse en suelos de poca permeabilidad. El riego intermitente está siendo reevaluado con variedades semi enanas en suelos menos permeables, obteniéndose ahorros de aproximadamente 20% sin efecto en el rendimiento (Thompson, citado por Humphreys et al., 2006).

Según Martini et al. (2009) el manejo de arroz regado con lámina continua es utilizado principalmente para auxiliar al control de malezas, aumentar la disponibilidad de nutrientes y además es aislante térmico para el cultivo.

2.6.1 Producción de materia seca

En cuanto a la producción de materia seca, no hubieron diferencias significativas entre tratamientos de inundación continua y alternancia de etapas sumergidas y no sumergidas (Belder et al., 2004).

Algunos resultados obtenidos por Patel et al. (2010) en ensayos con arroz pregerminado, en el cual se compararon tratamientos de inundación continua, en contraste con tratamientos que sólo se regaron en el momento de transplante para favorecer el establecimiento de las plantas; la producción de materia seca fue mayor en los tratamientos con inundación continua.

2.6.2 Producción de materia seca de raíz

Según Yoshida et al., Lilley et al., Nguyen et al., Price et al., Kato et al., Uga et al., citados por Kano-Nakata (2011), la sequía es el estrés abiótico más importante para la producción de arroz. Estos autores afirman que las raíces profundas y gruesas son beneficiosas para evitar la sequía; especialmente en condiciones de secano, donde la humedad del suelo está en las capas más profundas.

El efecto de la sequía varía de acuerdo al cultivar de arroz, el grado y la duración del estrés, y la etapa de crecimiento en que se encuentra la planta. Las características de

las raíces son las que permiten la adaptación a diferentes ambientes (Boonjoung et al., citados por Kano-Nakata, 2011).

Las respuestas al desarrollo del sistema radicular bajo condiciones de estrés hídrico se deben principalmente al crecimiento de las raíces seminales, nodales y adventicias, ya sea por alargamiento o desarrollo lateral de estas; o ambas. Cada una juega un papel importante de acuerdo al tipo de ambiente (Yamauchi et al., Wang et al., citados por Kano-Nakata, 2011). Esta capacidad se ha denominado “plasticidad fenotípica”; que es la capacidad de la planta de cambiar su fenología frente a cambios en las condiciones del medioambiente (O’Toole et al., citados por Kano-Nakata, 2011).

En el trabajo de Kano-Nakata (2011) se evaluó la plasticidad como la capacidad de desarrollo de las raíces bajo déficit hídrico; es decir, cuando aumenta el desarrollo del sistema radicular significa que aumenta la plasticidad de los distintos cultivares evaluados. Los tratamientos aplicados fueron: inundación continua, mantener el suelo con 15% de humedad (peso agua/peso suelo), y mantener el suelo con 30% de humedad; estos dos últimos como condición de déficit hídrico. Los tratamientos fueron aplicados a tres genotipos: Nipponbare, CSSL45 y CSSL50. En este trabajo se encontraron diferencias en el peso seco y longitud de raíz; así como en el uso de agua. Bajo condición de inundación continua no hubo diferencias entre materiales respecto al peso de planta, ni tampoco a la longitud de las raíces. Lo mismo ocurrió en el tratamiento de 30% de humedad en suelo. Bajo condiciones de 15% de humedad en el suelo, dos de los cultivares evaluados: CSSL45 y CSSL50 mostraron mayor peso seco de planta que Nipponbare; mientras comparando la longitud de las raíces, el cultivar CSSL50 fue superior a los otros dos materiales.

Respecto al uso de agua; cuando hubo inundación continua, los distintos materiales no mostraron diferencias en el uso de agua. Cuando se aplicó el tratamiento de 30% de humedad tampoco se encontraron diferencias. En el tratamiento de 15% de humedad, el cultivar CSSL50 presentó mayor uso de agua. Recordemos que el mismo material genético presentó mayor longitud de raíces.

Las conclusiones que resaltan los autores de este trabajo, fueron que: mayor sistema radicular, bajo condiciones de estrés hídrico, contribuyeron a una mayor producción de materia seca. Bajo condiciones de 20-25% de humedad de suelo, el material CSSL45 y CSSL50, mostraron mayor producción de materia seca debido a la mayor producción de macollos y expansión foliar. Esto fue atribuido a una mayor

habilidad de estos materiales en comparación a Nipponbare, a mantener fotosíntesis y conductividad estomática frente a condiciones de estrés hídrico. A nivel de investigación indica que hay diferentes comportamientos de los materiales frente a condiciones de estrés hídrico.

2.6.3 Altura de planta

Según Patel et al. (2010) la altura de planta fue significativamente superior ($p < 0,05$) bajo condiciones de inundación, comparado con condiciones aeróbicas o sin inundación. Esto se da, ya que bajo condiciones aeróbicas hay una disminución de la elongación de las células, resultando en menor largo de entrenudos.

Según Martini et al. (2009) las plantas de un cultivo manejado con riego continuo presentan mayor estatura.

2.6.4 Índice de cosecha

El índice de cosecha se vio modificado entre los tratamientos de inundación continua y alternancia de fases sumergidas y no sumergidas. En los tratamientos de inundación continua el índice de cosecha estuvo entre 0,51 y 0,53, mientras que en tratamientos que alternan fases sumergidas y no sumergidas estuvieron entre 0,47 y 0,48 (Belder et al., 2004).

2.6.5 Ciclo fenológico y días de riego

Según datos de Patel et al. (2010) el arroz bajo condiciones aeróbicas (sin regar, salvo al trasplantar) demoró más tiempo en alcanzar 50% de floración, pero llegó a madurez fisiológica al mismo tiempo que el tratamiento de inundación continua.

Según Martini et al. (2009) la fecha de floración no es modificada significativamente por el tipo de riego, continuo o intermitente.

2.6.6 Rendimiento y componentes del rendimiento

Según Bouman et al. (2001) el rendimiento de arroz regado cae una vez que la humedad baja del punto de saturación.

En los ensayos llevados a cabo por Patel et al. (2010), el tratamiento de inundación continua tuvo mayor rendimiento y mejores valores en componentes de rendimiento, excepto en número de panojas/m², peso de mil granos e índice de cosecha.

En los ensayos presentados por Martini et al. (2009) en dos años, el rendimiento no fue afectado por llevar a cabo un riego intermitente vs. riego continuo; encontrando mayores diferencias entre años, que entre tratamientos.

2.6.7 Calidad de grano

Según Cantou et al. (2009) el momento de inundación no tuvo efectos sobre los aspectos de calidad de grano, excepto yesado. El manejo que afectó más negativamente este parámetro fue el inundado a 60 días desde emergencia, aún con valores dentro de las exigencias de comercialización.

2.6.8 Mejoras en manejo de fertilización

El nitrógeno es el nutriente que tiene mayor influencia sobre el rendimiento y por lo tanto sobre la productividad del agua.

Un rendimiento de 10t/ha está compuesto por áreas que rinden 14 t/ha, mientras otras rinden 0t/ha debido a problemas de esterilidad causados por excesivo frío o excesivo nitrógeno, así como importantes infestaciones de malezas o establecimiento pobre de plantas (Humphreys et al., 2006).

2.7 CONSUMO Y PRODUCTIVIDAD DE AGUA

2.7.1 Antecedentes Internacionales

Según Bouman et al. (2001) el consumo de agua puede ser reducido con menores profundidades de lámina de agua, incluso manteniendo el suelo sin lámina saturado; o alternando períodos de secado e inundación.

Este autor cita valores de 23% ($\pm 14\%$) de ahorro de agua con un 6% ($\pm 6\%$) de disminución de rendimiento.

En este trabajo se reportan reducciones del 10 a 40% de rendimiento cuando el potencial de agua en la zona radicular alcanza valores de -100 a -300 mbar. Valores típicos de productividad del agua en cultivos con inundación continua citados en ese mismo artículo son de $0,2$ a $0,4$ kg/m^3 en India y $0,3$ a $1,1$ kg/m^3 en Filipinas.

Para sistemas que tratan de ahorrar agua, la productividad máxima citada por el autor es de $1,9$ kg/m^3 , pero con reducciones en el rendimiento. La ventaja que tienen este tipo de sistemas es que el agua ahorrada en un lugar puede ser utilizada para regar un área nueva.

Algunos datos provenientes de Australia, citados por Humphreys et al. (2006), indican que las productividades típicas de cultivos de verano son $0,4$ kg/m^3 para soja, a 1 kg/m^3 para sorgo, y $1,2$ kg/m^3 para maíz.

Los datos anteriores nos permiten aproximarnos a conocer cuál es la situación respecto a la eficiencia de uso del agua en el cultivo de arroz.

La productividad del agua en ensayos Tuanlin, China, variaron de $0,5$ a $1,13$ kg/m^3 (agua de riego más agua proveniente de precipitaciones) según Belder et al. (2004).

Según Humphreys et al. (2006) en cultivos de arroz en la zona de Murrumbidgee, Australia, 34° de latitud Sur, se ha logrado incrementar la productividad de $0,32$ kg/m^3 en 1980 a $0,70$ kg/m^3 en la actualidad (riego más agua de precipitaciones). Ello se logró en base a reducción en consumo y además aumento en la productividad.

Este mismo autor afirma que en Australia, la necesidad de mantener una lámina con importante espesor con el objetivo de proteger a la planta de bajas temperaturas, es actualmente, una de las mayores restricciones para reducir el uso de agua.

Marcolin et al. (2009) estudiando la eficiencia de uso de agua en distintos tratamientos de inundación permanente (inundación en 3 hojas, inundación en 4 hojas e inundación en 5 hojas) en el cultivar IRGA 424 obtuvo mayor rendimiento en la inundación mas temprana y mayor eficiencia en el uso del agua. Logrando valores de $1,59 \text{ kg/m}^3$ en inundación en 3 hojas, $1,52 \text{ kg/m}^3$ en 4 hojas y $1,38 \text{ kg/m}^3$ inundando con 5 hojas el cultivo.

Según Marcolin et al. (2011) en ensayos realizados en la Estación Experimental de Arroz de IRGA utilizando sistemas de riego con supresión de agua en estadios vegetativos en comparación con inundaciones continuas no encontró diferencias en productividad de granos. La eficiencia de uso de agua puede ser afectada por los diferentes sistemas de irrigación en función de las condiciones climáticas que ocurre en cada zafra.

Según Martini et al. (2009), es posible alcanzar una economía de aproximadamente el 28% del volumen de agua utilizado cuando se utilizan métodos de riego con déficit controlado. Este autor afirma que en años lluviosos la ventaja aumenta para los tratamientos con déficit controlado, ya que es posible el almacenamiento y aprovechamiento del agua de lluvia. La diferencia se reduciría en años poco lluviosos. Esta reducción en volumen de agua utilizada, con similares rendimientos permite una mejora en la eficiencia de uso de agua.

2.7.2 Antecedentes locales

Cantou et al. (2009) midieron el consumo de agua en un único bloque del ensayo montado. Obtuvieron una eficiencia de uso de agua de $1,9 \text{ kg/m}^3$ en promedio, considerando únicamente kg de arroz por m^3 de agua de riego, es decir, sin considerar el agua proveniente de las precipitaciones.

Según Cantou y Roel (2010) se obtuvieron valores de productividad de $0,84 \text{ kg/m}^3$ considerando agua proveniente de riego y lluvia.

Böcking et al. (2010) trabajando con la variedad el El Paso 144 en el departamento de Salto bajo dos sistemas de riego, inundación continua 30 DDE y un tratamiento de inundación intermitente (comenzando 30 DDE, reponiendo el agua para mantener el suelo en estado de saturación) determinó rendimiento y eficiencia de uso de agua. El rendimiento para riego continuo fue de 10338 Kg/ha mientras que para el riego intermitente fue 9989 Kg/ha, obteniendo una eficiencia para el sistema intermitente 7% mayor que el sistema continuo con valores promedio de 0,85 y 0,79 Kg de grano por m³ de agua de riego más precipitaciones respectivamente.

2.8 HIPÓTESIS Y OBJETIVOS DEL TRABAJO

2.8.1 Hipótesis de trabajo

Un sistema de riego con déficit controlado permitiría ahorrar agua sin afectar el potencial de rendimiento y por lo tanto aumentar la productividad del recurso hídrico.

De la información generada anteriormente se desprende que en la fase vegetativa habría cierto margen para ajustar el manejo de agua tradicional (baño-inundación), sin afectar el rendimiento, reduciendo el consumo de agua y por ende aumentando la productividad de la misma.

2.8.2 Objetivos del trabajo

Evaluar manejos de agua alternativos que permitan hacer un uso más eficiente del agua, manteniendo o maximizando la productividad.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN

El ensayo fue situado en la Unidad Experimental Paso de la Laguna (UEPL-INIA), perteneciente al Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA-33), en la zafra 2010-2011, ubicado en la primera sección Judicial del departamento de Treinta y Tres a 28 km al este de la capital departamental, más precisamente en las coordenadas 33° 16' Latitud Sur y 54° 10' de Longitud Oeste. La elevación del terreno es de 21 metros sobre el nivel del mar.

3.2 SUELO

Los suelos pertenecen a la Unidad “La Charqueada”, según la clasificación nacional de suelos. El suelo sobre el cual se sembró el ensayo es un Brunosol Subéutrico Lúvico, que presentó las siguientes características:

Cuadro No. 1. Análisis de suelo

Parámetro	Unidad	Resultado
pH (agua)		6
Materia Orgánica	(%)	2,24
Fósforo Bray I	(ppm P)	5
Fósforo Ác Cítrico	(ppm P)	4
Potasio Int.	(meq.K/100g)	0,12

3.3 ELECCIÓN DEL CULTIVAR

Se optó por utilizar el cultivar El paso 144 por ser el cultivar mas sembrado en el país, ya que en el mismo ensayo se midieron emisiones de gases de efecto invernadero con el objetivo de determinar la huella del carbono en la fase productiva del sistema de producción de arroz.³

³ Roel, A. 2010. Com. personal

3.4 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

La información climática fue proporcionada por la estación agrometeorológica instalada en la U.E.P.L. A continuación se presentan los datos de heliofanía (horas de luz), precipitaciones, temperaturas medias y evaporación de la serie histórica 1973/2010, de la zafra precedente a la que se realizó el ensayo (2009/2010) y de la zafra en la cual se instaló el ensayo. Los datos corresponden al período comprendido entre setiembre y abril.

En base a esta información se procedió a elaborar cuadros y gráficas que permiten observar el efecto de la modificación de los ciclos respecto a las variables climáticas más determinantes en el período crítico del cultivo comprendido entre 20 días previos y 20 días posteriores a la floración.

3.4.1 Heliofanía

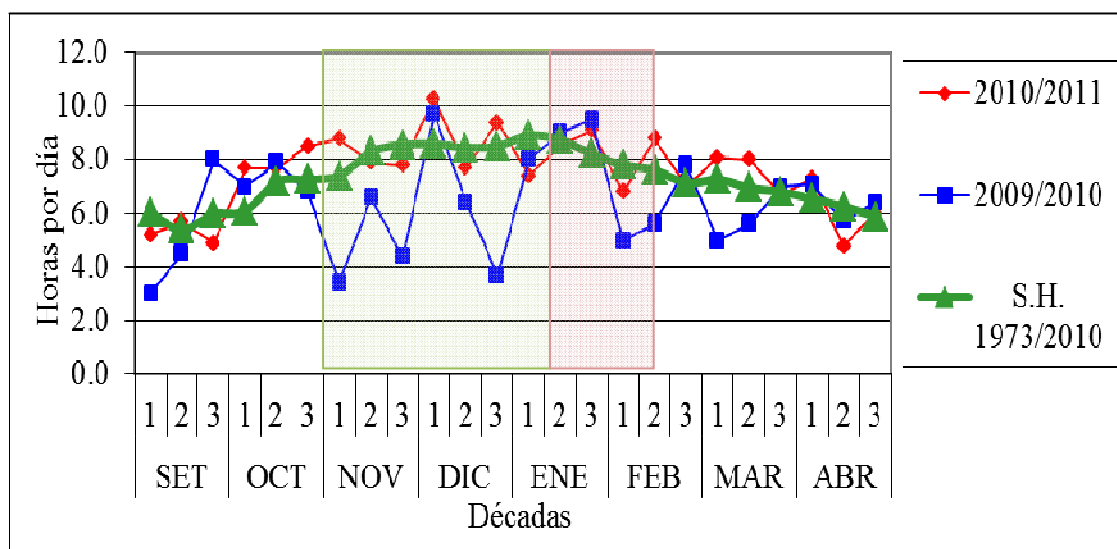


Figura No. 1. Horas de sol decádicas correspondientes a los años 2010/2011, 2009/2010 y Serie histórica 1973/2010

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

⁴ U.E.P.L Estación Agrometeorológica. 2011. Datos meteorológicos (sin publicar).

Como se observa en la figura No. 1. para el período vegetativo del cultivo, comprendido entre noviembre hasta la primera década de enero, el año presentó mayor número de horas de sol por día que la serie, siendo mayor aún la diferencia con la zafra pasada.

En lo que respecta al período reproductivo (inicio en la primera década de enero), las horas de sol fueron superiores respecto a la serie histórica.

Comparando la totalidad de la zafra 2010/2011 con la del año anterior, las condiciones de heliofanía fueron más favorables para el cultivo.

3.4.2 Temperatura

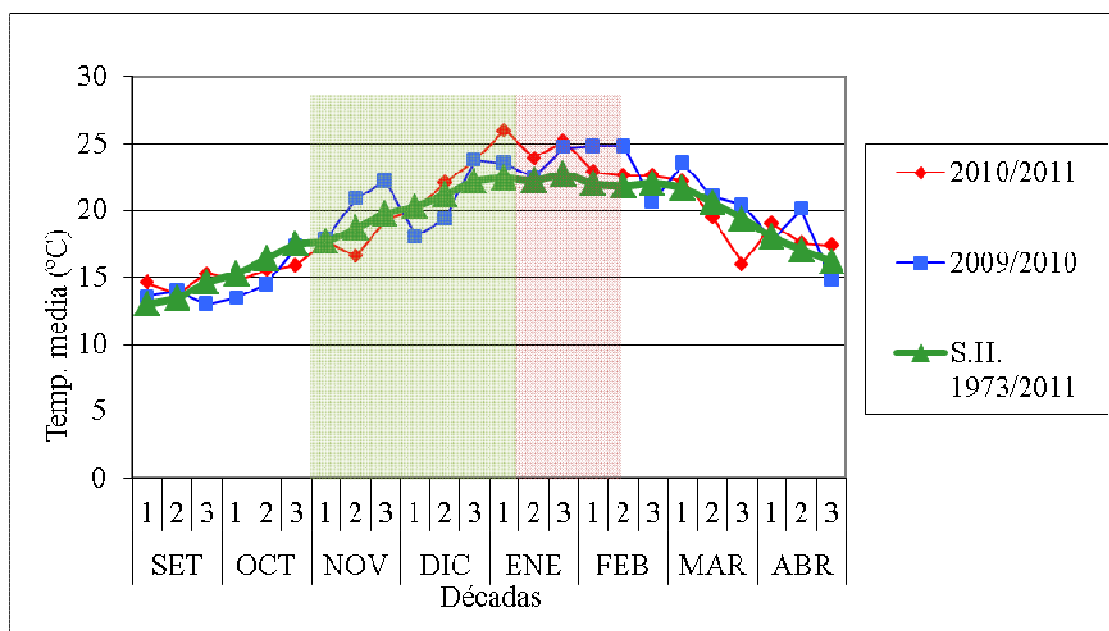


Figura No. 2. Temperatura media decádica correspondiente a las zafras 2009/2010, 2010/2011 y S.H. 1973/2010.

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

En el período vegetativo podemos distinguir dos momentos respecto al comportamiento de esta variable. En la zafra 2010/2011 la temperaturas medias fueron

inferiores a las registradas en la zafra 2009/2010 y al promedio histórico hasta la mitad de la etapa vegetativa. Luego las temperaturas de la zafra 2010/2011 superan a las de la zafra anterior, incluso al promedio histórico.

En la etapa reproductiva, las temperaturas fueron inferiores a la zafra pasada y superiores a la serie histórica.

3.4.3 Precipitaciones

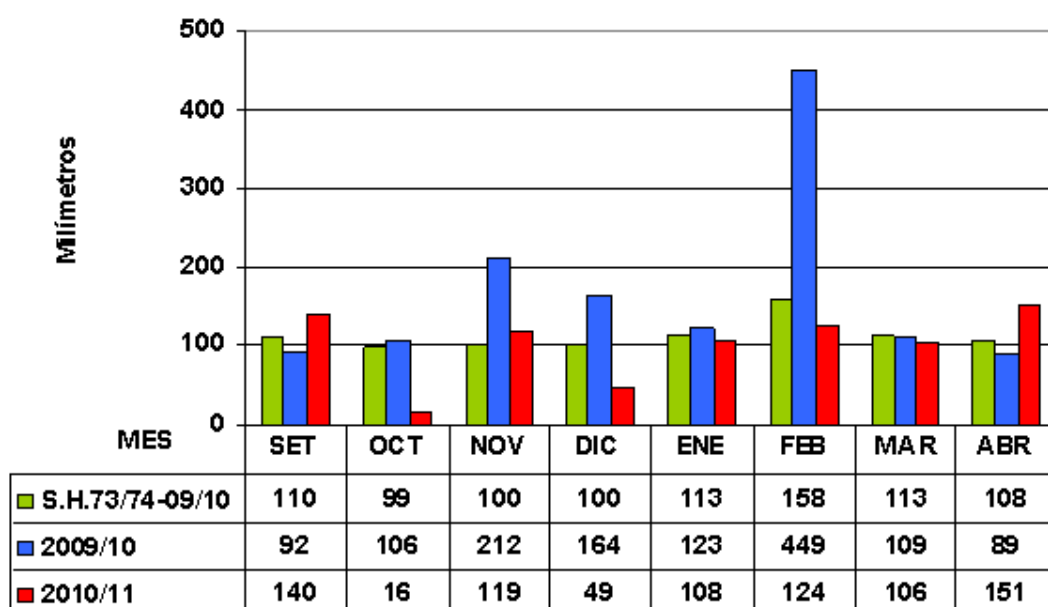


Figura No. 3. Precipitaciones (mm) para las zafras 2010/2011, 2009/2010, Serie histórica 1973/2010

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

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

Se puede observar claramente en la figura No. 3. que en la zafra 2010/2011 se registraron menores precipitaciones que en 2009/2010, sobre todo en los meses de noviembre, diciembre y febrero.

Es de resaltar que las condiciones de escasas precipitaciones en las cuales se realizó el ensayo, fueron propicias para poder diferenciar el efecto del riego sobre el cultivo en los distintos tratamientos.

3.4.4 Evaporación

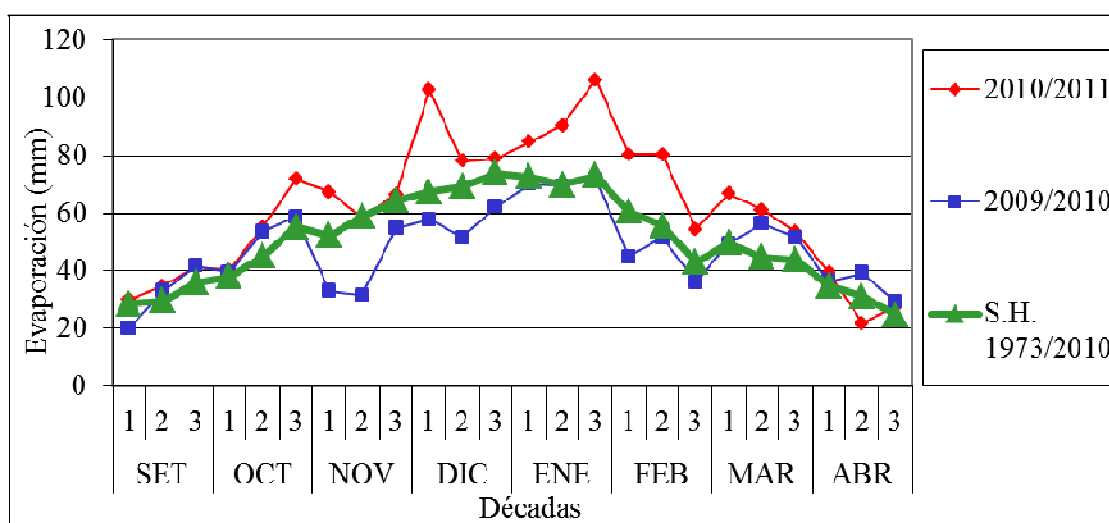


Figura No. 4. Evaporación de tanque “A” para las zafra 2009/2010, 2010/2011 y Serie Histórica 1973/2010

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

La evaporación medida en tanque “A”, fue muy superior a la registrada en la zafra anterior así como en la serie histórica. Ello explica en parte los altos consumos de agua de riego en el ensayo.

Por otra parte, la evaporación del tanque “A”, confirma el comportamiento de las demás variables climáticas durante el período. Es decir, una alta evaporación se relaciona con condiciones de elevada heliofanía y elevada temperatura.

3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño de parcelas divididas en bloques al azar con cuatro repeticiones. Cada bloque contó con parcelas de aproximadamente nueve por trece metros.

La utilización de este diseño se realizó debido a que el terreno donde se ubicó el ensayo presenta una pendiente de 0,5%. Cada bloque tiene aproximadamente la misma posición en la pendiente.

La unidad experimental fue cada parcela con un tratamiento de riego.

La asignación de los tratamientos se realizó al azar dentro de cada uno de los bloques.

Los resultados fueron evaluados usando modelos mixtos PROC MIXED SAS, Littell et al. (1996). Se estableció un nivel de significancia de 0.05.

Modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + R_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

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

$$j = 1, 2, 3, 4$$

μ = media

R_i = efecto del tratamiento del i-ésimo tratamiento de riego

β_j = efecto del j-ésimo bloque

ε = error experimental

Modelo en términos agronómicos

Eficiencia (kg de arroz/m³ de agua) = eficiencia media general + efecto del tratamiento de riego + efecto del bloque + error experimental

3.5.1 Hipótesis

3.5.1.1 Hipótesis estadísticas

- $H_0 : R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5$
- H_a : Al menos uno es diferente

3.5.1.2 Hipótesis biológicas

- H_0 : Los efectos de los tratamientos de riego son iguales
- H_a : Existe al menos una diferencia entre los efectos de los tratamientos.

3.6 TRATAMIENTOS

Se evaluaron 5 tratamientos agrupados en dos sistemas de riego: Inundación continua (IC) y riego con déficit controlado.

Cuadro No. 2. Tratamientos de riego.

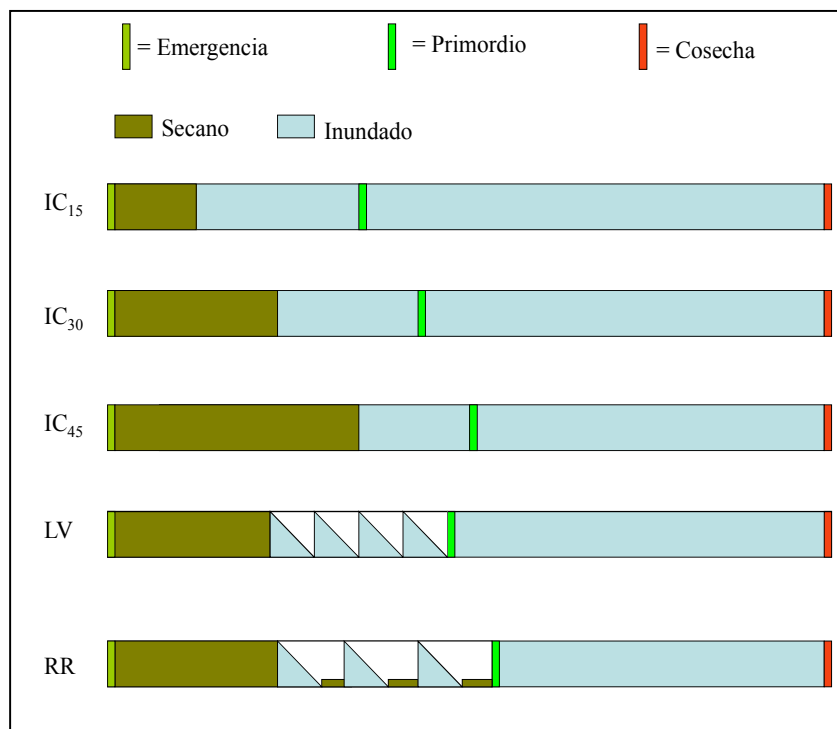
Inundación continua	
IC ₁₅	Inundación 15 DDE
IC ₃₀	Inundación 30 DDE
IC ₄₅	Inundación 45 DDE
Riego con déficit controlado*	
LV	Con lámina variable (de 0 a 5 cm)
RR	Riego restrictivo (sin lámina de agua)

* a partir de 30 DDE e inundación continua desde diferenciación del primordio floral.

DDE = días después de emergencia.

A continuación se esquematiza el manejo del riego para cada uno de los tratamientos.

Esquema No. 1. Manejo del riego de los diferentes tratamientos



Entre los tratamientos de IC, se estableció una lámina permanente de 10 cm variando la fecha de inundación entre ellos. Como referencia se utilizó la emergencia y se establecieron las láminas a 15, 30 y 45 DDE (IC15, IC30 e IC45). En el tratamiento IC15, inicialmente se regó hasta alcanzar una lámina de 5 cm con el objetivo de que la lámina no superara la altura de las plantas y produjera muerte de las mismas.

Los tratamientos de déficit controlado fueron los siguientes: lámina variable (LV) y riego restringido (RR). En ambos, se inició el tratamiento de déficit controlado a los 30 DDE, hasta que alcanzaron primordio. Luego, cuando cada tratamiento alcanzó primordio, se inundaron las respectivas parcelas en forma continua, permaneciendo todos los tratamientos con lámina permanente.

En el tratamiento LV, se establece una lámina 7 +/- 2 cm, y se suspende el riego hasta que el suelo se encuentra en estado saturado. En ese momento se restablece la lámina de agua y así sucesivamente.

En el tratamiento RR, iniciamos el riego saturando el suelo (sin lámina sobre el suelo). Cuando se evapotranspira la mitad del agua disponible en el suelo (25mm para todo el perfil) se vuelve a regar hasta que quede saturado nuevamente, y así sucesivamente. El cálculo de evapotranspiración se realizó utilizando los datos de la estación meteorológica de la U.E.P.L.

Una vez que se estableció la inundación permanente en todos los tratamientos, el criterio utilizado fue mantener una lámina de 10 cm hasta el fin del riego (15 días después que alcanzar 50% de floración), por lo que cada tratamiento tuvo una fecha de fin de riego distinta. Este criterio surgió de ensayos experimentales anteriores realizados con el objetivo de evaluar el efecto del momento de retiro de agua sobre el rendimiento y la calidad industrial de grano en la variedad INIA Olimar. Este manejo permite reducir el período de riego y por lo tanto racionalizar el uso de agua (Segovia 2007, Molina et al. 2007, Cantou et al. 2008).

3.7 MANEJO DEL CULTIVO

El siguiente cuadro resume las principales actividades realizadas durante el desarrollo del cultivo.

Cuadro No. 3. Manejo del cultivo

Fecha	Actividad	Detalle
8 de octubre	Siembra y fertilización basal	Variedad El Paso 144 - 154 kg/ha de semilla. Fertilización: 182kg/ha de 9-36-10
10 de noviembre	Emergencia	
19 de noviembre	Aplicación de Herbicida	0,85 L/ha Command+1,5 L/ha Facet + 3L/ha Propanil + 200 g/ha Cyperex
Variable según tratamiento	Fertilización	Macollaje 60 kg/ha de Urea* Primordio 60 kg/ha de Urea**
Variable según tratamiento	Inundación permanente	Al alcanzar primordio
Variable según tratamiento	Fin de riego	15 días después de alcanzado 50% de floración

*Previo a la inundación de los tratamientos de riego continuo (en seco).

**Previo al primer riego en los de déficit controlado (en seco).

3.7.1 Siembra

Se sembró el cultivar El Paso 144 el 8 de octubre de 2010 a razón de 154 kg/ha de semilla. Se realizó una fertilización basal con 182 kg/ha de 9-36-10. Se utilizó una sembradora de siembra directa (Semeato, Personale Drill) de 13 líneas, con una distancia entre hileras de 17 centímetros.

3.7.2 Emergencia

La emergencia de las plantas en el ensayo fue despareja debido a las condiciones de escasas precipitaciones, por lo que fue necesario realizar dos baños a todos los tratamientos previos a emergencia para nacer y uniformizar las parcelas.

3.7.3 Baños

En el siguiente cuadro se presentan los baños realizados a los distintos tratamientos. Cabe destacar que la zafra 2010/2011 presentó muy pocas precipitaciones en este período, sumado a elevados valores de heliofanía, y de evaporación, por lo que el suelo se presentó muy seco en el período de emergencia.

En parcelas inundadas a 15 DDE no se realizaron baños, estableciéndose una lámina de inundación de escasa profundidad que luego era elevada en la medida que las plantas iban creciendo hasta llegar a una altura definitiva de unos 10 cm.

Cuadro No. 4. Baños realizados a cada tratamiento

Tratamiento	Baños para nacer	Baños
IC 15	25/10/2010 – 8/11/2010	-
IC 30	25/10/2010 – 8/11/2010	26/11/2010
IC 45	25/10/2010 – 8/11/2010	26/11/2010 – 27/12/2010
LV	25/10/2010 – 8/11/2010	26/11/2010
RR	25/10/2010 – 8/11/2010	26/11/2010

3.8 DETERMINACIONES Y REGISTROS

Las dos principales variables a determinar son rendimiento y consumo de agua. De esta manera podemos calcular la productividad del agua (kg de arroz/m³ de agua).

La determinación de consumo de agua se realizó a nivel de cada parcela con el uso de aforadores individuales. El rendimiento se determinó a cosecha.

El seguimiento del tratamiento RR se realizó con el método FAO Penman-Monteith, a partir de los datos suministrados por la estación meteorológica de la U.E.P.L.

Se monitoreó la humedad del suelo mediante tres métodos (método gravimétrico, sonda de neutrones y sensores TDR), desde que comenzaron a aplicarse los tratamientos LV y RR, a los 30 DDE hasta la inundación continua de los mismos, con el objetivo de caracterizar la evolución de la misma.

Para realizar la calibración de la sonda de neutrones, se determinó la humedad de suelo mediante método gravimétrico, en puntos cercanos a donde se instalaron los tubos de aluminio en donde se midió con sonda de neutrones.

Las determinaciones mediante método gravimétrico, se realizaron utilizando calador de suelos, se sacó muestras a profundidades que variaron entre 0-10cm, 10-20cm y 20-30cm. Además se midió humedad de suelo utilizando la sonda de neutrones, en las mismas parcelas y a la misma profundidad, con el objetivo de obtener datos para calibrar la sonda de neutrones. Se instalaron los tubos de acceso de aluminio en el centro de parcelas de los tratamientos IC45, LV y RR. Se midió con sonda de neutrones a cinco profundidades (0-10cm, 10-20cm, 20-30cm, 30-40cm, 40-50cm). Los conteos de sonda fueron calibrados contra muestreos gravimétricos, teniendo en cuenta la densidad aparente del suelo ($1,35 \text{ gr/cm}^3$). Mientras se realizaban las mediciones, se registró el estado del suelo subjetivamente. Se siguió además en tiempo real (registro cada una hora) el contenido de agua del suelo con sensores ubicados en los tratamientos IC45, LV y RR a profundidades de 5 y 15cm, excepto el tratamiento LV que tuvo un solo sensor ubicado a 5cm de la superficie del suelo. Estas profundidades de los sensores representan el contenido de humedad de suelo de 0-10 cm y de 10 a 20 cm respectivamente. La información de los sensores fue registrada por un sistema de recolección de datos modelo Em5b de la marca Decagon Devices. Los datos fueron descargados al ordenador portátil en el campo, mediante el software ECH2O.

Se extrajeron muestras de planta para determinar materia seca de parte aérea y se midió altura en diversos puntos del cultivo 29 DDE, 49 DDE, 61 DDE, 70 DDE, 50% floración, cosecha.

Las muestras para materia seca consistieron en tres cortes de 30 cm al ras del suelo, obtenidos al azar, estas se secaron por 48 horas en estufas a 100°C .

A macollaje se extrajeron muestras de planta también para realizar conteo de plantas.

A primordio y 50% de floración además se determinó la materia seca de parte aérea y se determinó la de las raíces; y la relación entre ellas.

El proceso se inició con la extracción de terrones de 30cm de profundidad y 30cm de largo con el espesor de una hilera del cultivo (17 cm). La profundidad de 30 cm

se decidió en base a la presencia de un horizonte B textural muy arcilloso, a partir del cual la penetración radicular es casi nula.

Los terrones fueron transportados hasta el laboratorio de INIA, en donde se inició el proceso de extracción de raíces. Estos terrones se ubicaron sobre un tamiz de suelo de marca Soiltest Incorporated, que tenía una malla de 841 micrones, evitando que se perdieran las raíces más pequeñas. Sobre este tamiz se roció agua, y manualmente se separaban las raíces del suelo y de otros objetos. Finalmente, cuando las plantas estaban separadas del suelo, se limpiaron y se cortaron para separar parte aérea de raíz. Posteriormente se secaron individualmente las muestras de parte aérea, raíces y objetos extraños durante 48 horas a 100 °C.

Se determinó el contenido relativo de clorofila en hoja con SPAD, en primordio (en la última hoja completamente desarrollada) y en 50% de floración (en hoja bandera).

Se evaluó incidencia de los patógenos *Sclerotium oryzae* y *Rhizoctonia oryzae sativae* a cosecha.

Se determinó rendimiento y sus componentes (panojas/m², granos/panoja, granos por metro cuadrado, % de esterilidad de panojas y peso de mil granos), e índice de cosecha. Posteriormente en el laboratorio se realizaron las mediciones de calidad industrial (% verde, % esterilidad de grano, blanco total, % grano entero, % de grano quebrado, % de grano yesado, % de grano manchado).

La determinación del rendimiento se realizó en un área de 8 hileras de ancho por 3 metros de largo, esto se realizó en forma manual utilizando hoz. El material cosechado, fue procesado en una cosechadora estacionaria marca Almaco. En el mismo momento se tomaron muestras para determinar la humedad de los granos con el humidímetro Dickey- John MULTI GRAIN Moisture Tester portátil.

Para determinar los componentes del rendimiento se tomaron muestras de 25 panojas por parcela, al azar. Estas muestras se secaron. Primero se separaron granos llenos de vacíos con un clasificador de marca Kiya Seisakusho, y se contaron los granos llenos con el contador de la misma marca, mientras que los vacíos se contaban manualmente para lograr obtener el % de esterilidad de granos y el número de granos

por panoja. Posteriormente se contaron 1000 granos llenos con el mismo contador, para conformar el peso de 1000 granos.

El porcentaje de grano verde se determinó manualmente en laboratorio a partir de submuestras de 50 gr de granos descascarados. Se separaron los granos, se pesaron y así se obtuvo el % de granos verdes.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se analizará el efecto de los tratamientos en las variables estudiadas, haciendo énfasis en: rendimiento, consumo de agua, eficiencia de uso de agua, materia seca y altura en macollaje, 50% de floración y cosecha; índice de cosecha, enfermedades, calidad industrial; así como la caracterización de los diferentes manejos de riego desde el punto de vista de humedad en suelo.

4.1 EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE LA FENOLOGÍA

La fenología del cultivo fue afectada por el tratamiento de riego (cuadro No. 5).

Cuadro No. 5. Momento de los eventos fenológicos por tratamiento de riego.

Tratamiento	Primordio	Floración*	Fin de riego	Cosecha
Riego continuo				
IC ₁₅	28 Dic	3 Feb	18 Feb	21 Mar
IC ₃₀	3 Ene	12 Feb	27 Feb	30 Mar
IC ₄₅	13 Ene	23 Feb	10 Mar	8 Abr
Riego con déficit controlado				
LV	7 Ene	15 Feb	1 Mar	30 Mar
RR	15 Ene	15 Feb	1 Mar	5 Abr

* Cultivo con 50 % de floración.

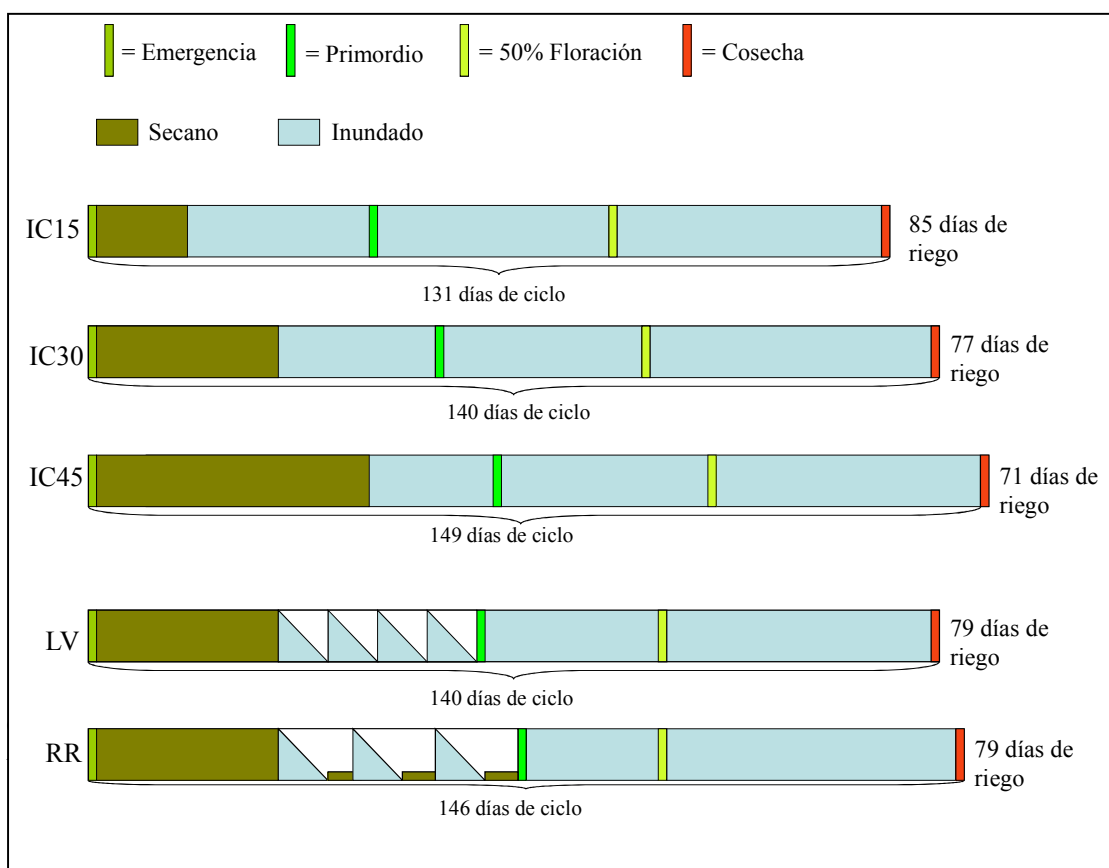
En cuanto a los tratamientos con inundación continua, IC45 fue el que tuvo el ciclo más largo, 18 y 9 días más que IC15 e IC30 respectivamente. A medida que se inunda más tarde más largo es su ciclo, demorando más en alcanzar los distintos estados fenológicos.

En los tratamientos de riego con déficit controlado, LV alcanzó los distintos estados fenológicos en fechas similares a IC30 (manteniendo aproximadamente 3 días de atraso), RR demoró más en alcanzar el estado de primordio, mostrando un comportamiento similar al tratamiento IC45, para los momentos de floración y fin de riego se comportó similar al IC30, mientras que a cosecha se comportó de manera intermedia entre IC30 e IC45. En resumen, LV mantuvo 3 días de atraso con respecto a IC30, mientras que RR fue atenuando diferencias con IC30 a medida que transcurría el ciclo del cultivo hasta cosecha. Los resultados difieren con los antecedentes

internacionales de Martini et al. (2009), quién no tuvo influencia del riego intermitente sobre el ciclo fenológico.

A continuación se esquematiza lo expresado anteriormente:

Esquema No. 2. Efecto del tratamiento de riego sobre el ciclo fenológico y días de riego



Como se puede observar en el cuadro No. 6 el tratamiento IC15, que se comenzó a regar antes, fue el que presentó el ciclo más corto. A medida que atrasamos el inicio de la inundación el ciclo del cultivo tiende a prolongarse. Cantou et al. (2008) observaron el mismo comportamiento para los materiales INIA Olimar y El paso 144. Lo contrario ocurre con los días de riego, a medida que iniciamos el riego más temprano (IC15), el cultivo tiene más días de riego. Si bien es lógico esperar que el tratamiento IC15 presente mayor número de días de riego (por adelanto de la inundación), esta

diferencia no fue igual a la diferencia en días entre momentos de inundación por el efecto que tuvo esta variable en acortar el ciclo del cultivo. Por ejemplo IC45 se inundó 30 días después de IC15, pero tuvo 14 días menos de riego dado que su ciclo a cosecha se alargó 18 días. Este mismo comportamiento en el número de días de riego fue concordante con los resultados de Cantou et al. (2009).

Los días de riego para cada tratamiento se vieron más influenciados por la fecha de inicio de riego, que por el régimen de riego, como puede observarse comparando los tratamientos IC30, LV y RR, que se comenzaron a regar todos a 30 DDE, y presentan sólo dos días de diferencia entre IC30 con LV y RR en el número de días de riego, ya que no se afectó la fenología.

Cuadro No. 6. Efecto del tratamiento de riego sobre la fenología y los días de riego.

Tratamiento	Días de ciclo*	Días a floración**	Días de riego***
IC ₁₅	131d	85c	85
IC ₃₀	140c	93b	77
IC ₄₅	149a	104a	71
LV	140c	95b	79
RR	146b	95b	79
Media	141	94	
CV (%)	4	7	
P > F	0,0001	0,0001	

* Desde emergencia hasta cosecha

** Desde emergencia a 50 % de floración.

*** Desde inicio del tratamiento (inundación para los tratamientos de riego continuo y 30 DDE para los de riego con déficit controlado), hasta 15 días después del 50% de floración.

4.2 CARACTERIZACIÓN MICROCLIMÁTICA

El manejo del riego tiene una influencia muy importante sobre el ciclo del cultivo, pudiendo determinar que en el período crítico (20 días previos y 20 días después de 50% de floración) aumente el riesgo de que el cultivo este sometido a condiciones climáticas menos favorables si se alarga el ciclo, lo que puede tener un impacto negativo sobre el rendimiento. Este período de estudio concuerda con estudios de Stansel, citado por Aguissain (2006) en los cuales se expresa que los rendimientos se ven más afectados por las condiciones climáticas.

4.2.1 Heliofanía

En el siguiente cuadro se observa como varían las horas de sol de acuerdo al tratamiento de riego en torno al período crítico.

Cuadro No. 7. Heliofanía veinte días previos y veinte días posteriores al período crítico del cultivo

Tratamientos	Horas de sol (2010/2011)	Horas de sol S.H. (1973/2010)
IC15	8.1	8.1
IC30	7.9	7.7
IC45	7.7	7.5
LV - RR	7.8	7.6

Elaboración propia en base a datos de la estación agrometeorológica de la U.E.P.L.

El acortamiento del ciclo ocurrido en IC15, permitió mejores condiciones de radiación para el cultivo durante el período crítico, de la misma manera a medida que se inundó más tarde (IC30 e IC45), las horas de sol por día disminuyeron. Vale observar que las diferencias en horas de sol entre IC15 e IC45 son de 36 minutos en la serie histórica, y de 24 minutos en la zafra del 2010/2011. En esta zafra la diferencia en la radiación recibida por estos dos tratamientos extremos es menor que en la serie histórica, por lo que en la zafra 2010-2011 un atraso en la inundación tendría menor efecto que si la radiación se hubiera comportado como en la serie histórica.

RR y LV presentaron similares valores de horas de sol para este período a IC30 debido a que su floración fue sólo 3 días más tarde.

Desde el punto de vista de las horas de sol entorno a floración, este año estas fueron un poco superiores.

4.2.2 Temperatura

A continuación se presenta los valores de temperaturas medias y mínimas de la serie histórica y de la zafra 2010/2011 durante el período crítico del cultivo.

Cuadro No. 8. Temperaturas medias y mínimas veinte días previos y veinte días posteriores al período crítico del cultivo

Trat.	Temp. mín* (2010/2011)	Temp. Mín S.H (1973/2010)	Temp. Media (2010/2011)	Temp. Media S.H. (1973/2010)
IC15	17.4	16.4	23.7	22.2
IC30	17.1	16.1	23.2	22.2
IC45	16.5	15.3	22.4	21.9
LV – RR	16.8	15.7	22.9	22.0

*promedio de las temperaturas diarias mínimas.

Las temperaturas mínimas se dieron en el tratamiento IC45 para el período comprendido entre 20 días previos y 20 días posteriores a floración. Los tratamientos LV y RR tuvieron temperaturas mínimas levemente inferiores que IC30, debido a que su fecha de floración se atrasó 3 días respecto a IC30. De la misma manera se comportan las temperaturas medias.

Si lo comparamos con la serie histórica el cultivo este año tuvo mejores condiciones en el período comprendido entre 20 días previos y 20 días posteriores a 50% de floración, siendo estas en promedio 1°C superior a las de la serie histórica.

4.2.3 Días con temperaturas menores a 15°C

Como se puede observar en la figura No. 5 en los tratamientos de inundación continua, a medida que se inundaron más tarde, tuvieron más días con temperaturas inferiores a 15°C. Ello se debe al efecto de acortamiento del ciclo que causa la inundación temprana del cultivo, que permitió escapar a esos días con temperaturas bajas. Este valor de temperatura crítica es el nivel térmico por debajo del cual se afecta la fecundación de las flores y el rendimiento según Nishiyama, citado por De Datta (1981), Buriol (1998), Nedel, citado por Andrade et al. (2000).

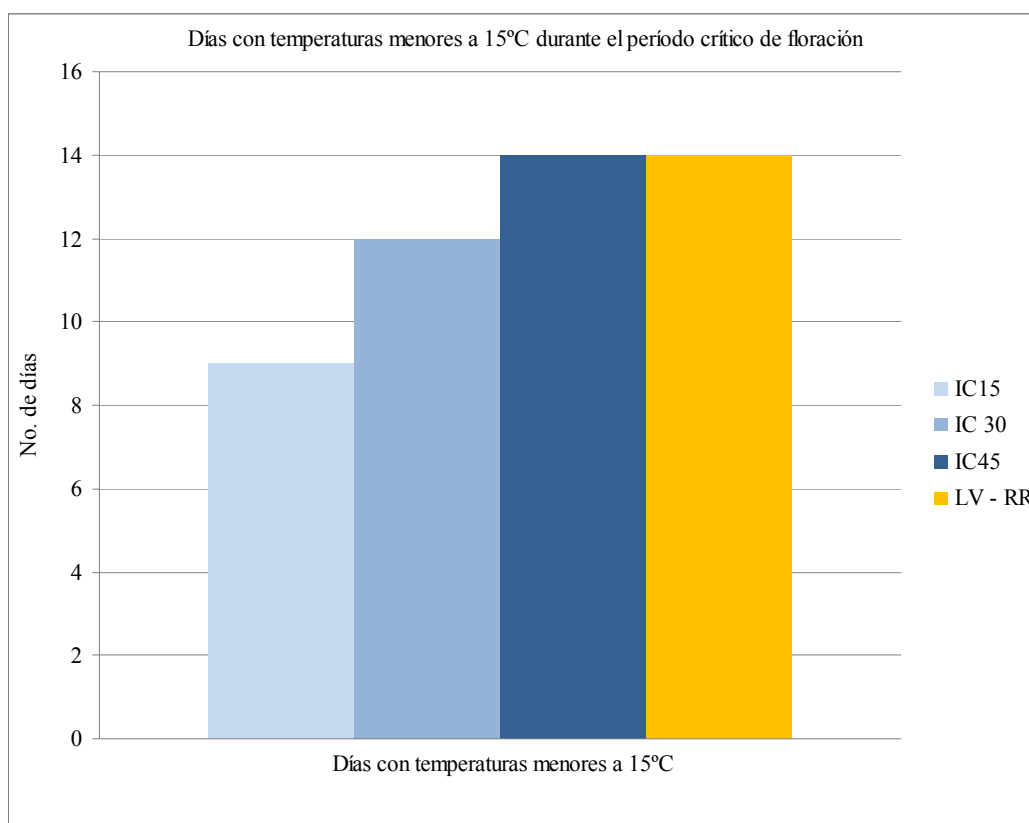


Figura No. 5. Días con temperaturas menores a 15°C durante el período comprendido entre 20 días previos y 20 días posteriores a floración

Los tratamientos LV y RR presentaron dos días más con temperaturas menores a 15°C que el tratamiento de IC30, debido a que alcanzaron la fecha de floración 3 días después que IC30. De los tres días que se prolongó el ciclo a floración en los tratamientos LV y RR, dos de ellos presentaron temperaturas menores a 15°C.

Los tratamientos de déficit controlado presentaron igual número de días con temperaturas menores a 15°C que el IC45.

Es de resaltar que el período crítico de IC45 se movió hacia fines de febrero (floración 23 de febrero), lo cual aumentó el riesgo de ocurrencia de bajas temperaturas y como consecuencia, su efecto sobre la concreción de rendimiento.

Cabe aclarar que esta gráfica se elaboró en base al registro de temperatura mínima diaria, por lo que la ocurrencia de temperaturas menores a 15°C no indica el largo del período en el que ocurrieron estas temperaturas.

4.3 MANEJO DEL AGUA

En el cuadro No. 9 se detallan las fechas de riego y baños pos emergencia realizadas para los distintos tratamientos. Como se puede apreciar, a medida que los tratamientos se inundaron más tarde necesitaron más baños. Estos resultados son semejantes a los reportados por Roel et al. (1996), Cantou y Roel (2010) quienes afirman que inundaciones tempranas necesitan menor número de baños, pudiendo incluso ahorrarse el agua que se utiliza en baños. Los baños se realizaron con el objetivo de promover y uniformizar el desarrollo de las plantas, lo que fue importante en este año particular dado por las escasas precipitaciones que hubieron en el período desde siembra a emergencia.

Cuadro No. 9. Fechas de riego e inundación de los tratamientos.

Tratamiento	Baños	Riego intermitente	Inundación continua
Riego continuo			
IC ₁₅	-		26-nov
IC ₃₀	26/11/2010		13-dic
IC ₄₅	26/11/2010-27/12/2010		30-dic
Riego con déficit controlado			
LV	26/11/2010	13, 15, 17, 21, 23, 27 y 30 de Dic, 3 Ene.	07-ene
RR	26/11/2010	13, 21, 27 Dic; 3,7,10 Ene.	13-ene

El 13 de diciembre se iniciaron los tratamientos LV y RR, se saturó el suelo en el tratamiento RR y se estableció la lámina de 5 centímetros del tratamiento LV.

Respecto al número de riegos, el tratamiento LV recibió 8 riegos previos a la inundación permanente, mientras RR recibió 6 riegos previos a inundación permanente. En la zafra 2009/2010 estos tratamientos recibieron 3 y 1 riego respectivamente debido a que se registraron mayor número de precipitaciones.

A continuación se presenta las figuras correspondientes a las mediciones de humedad de suelo, obtenidas mediante sensores TDR y sonda de neutrones para los distintos tratamientos, y las distintas profundidades medidas. Hay que aclarar que los sensores no fueron calibrados contra valores de humedad gravimétrica como se realizó con la sonda de neutrones. Aunque los valores obtenidos por TDR son similares a los obtenidos por sonda no tenemos la certeza de que sea realmente el contenido de humedad del suelo.

4.3.1 Tratamiento IC 45:

En las siguientes dos figuras se muestra el contenido de humedad de suelo para el tratamiento IC45 medido con sensor TDR y sonda de neutrones.

En la figura No. 6 se presentan los promedios diarios de las medidas realizadas por los sensores TDR, se resalta los bajos niveles de precipitaciones que ocurrieron en el período, y como consecuencia, su baja incidencia en los valores de humedad de suelo registrados. Los aportes de agua que realmente inciden en los contenidos de agua del suelo para este período en este ensayo, fueron los realizados mediante riego a las parcelas.

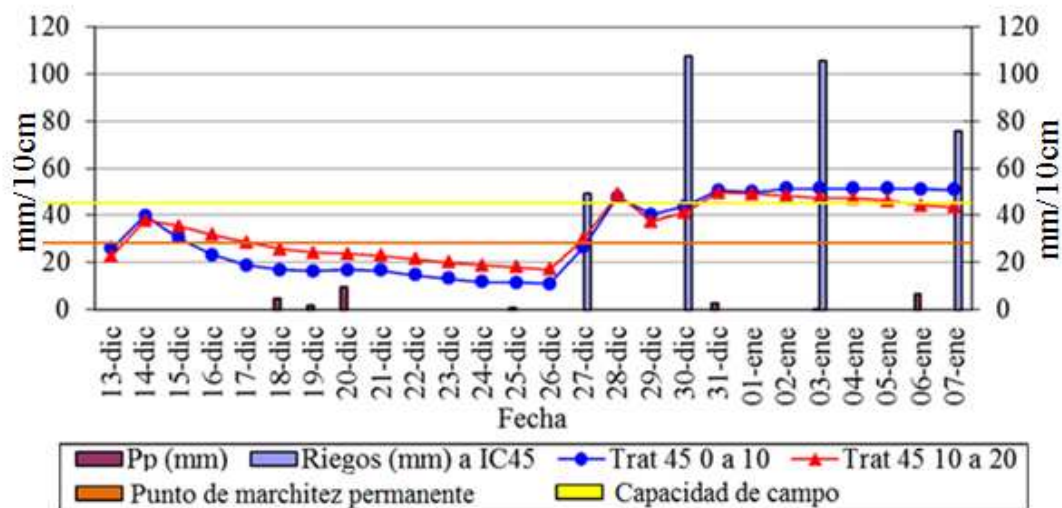


Figura No. 6. Evolución del contenido de humedad del suelo en tratamiento IC45 medida con sensores TDR

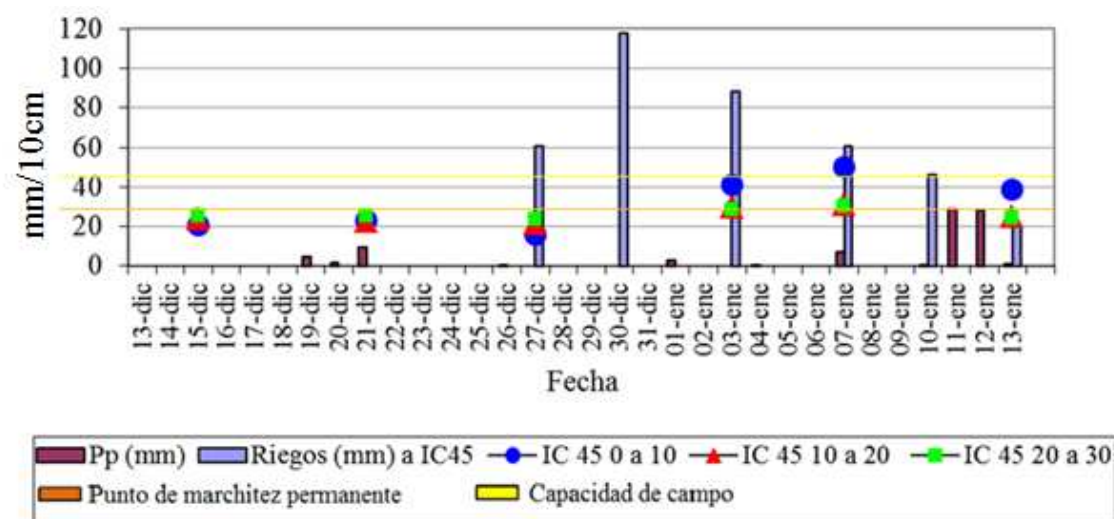


Figura No. 7. Evolución del contenido de humedad del suelo en tratamiento IC45 medida con sonda de neutrones

Los milímetros de agua suministrada por riego son diferentes en las figuras No. 6 y 7 dado que las parcelas que contenían los sensores no eran las mismas donde se registraba con la sonda de neutrones.

En la primera figura se puede apreciar claramente como el contenido de agua según las mediciones de los sensores fue descendiendo hasta la fecha de 27 de diciembre de 2010, cuando este tratamiento recibió un “baño”.

Los bajos niveles de humedad previos al 27 de diciembre pudieron causar estrés hídrico en las plantas pequeñas, por lo que influyeron negativamente en las determinaciones de materia seca y altura, realizadas en el período previo a la inundación permanente de este tratamiento. Podemos observar como los valores descendieron por debajo del punto de marchitez permanente (PMP) estimado para este suelo que es 28 mm cada 10 cm.

Posteriormente se observa que el contenido de agua asciende el 30 de diciembre, momento en que se efectuó la inundación definitiva, es decir, que se estableció la lámina permanente superando la capacidad de campo del suelo (CC) 46mm cada 10 cm de suelo.

También se visualiza que el primer riego fue mayor a los siguientes debido a la necesidad de saturar el suelo que estaba muy seco y de establecer la lámina.

Las lecturas con sonda de neutrones muestran valores similares a las obtenidas con sensores de humedad, para este tratamiento.

4.3.2 Tratamiento LV

El período graficado a continuación comprende desde 30 DDE hasta la inundación continua, o sea, hasta primordio.

En la figura No. 9 podemos ver que si bien la lámina oscilaba entre 0 y 5 cm, el suelo siempre permaneció saturado, cumpliendo con el objetivo de manejo trazado para este tratamiento. Es importante resaltar que este tipo de tratamientos así como RR, pueden presentar problemas en su implementación a nivel de chacra requiriendo una excelente nivelación, así como un buen monitoreo de la humedad de suelo. También inundaciones tempranas como IC15 requieren de una excelente nivelación para poder inundar con láminas poco profundas y no perder las plantas pequeñas.

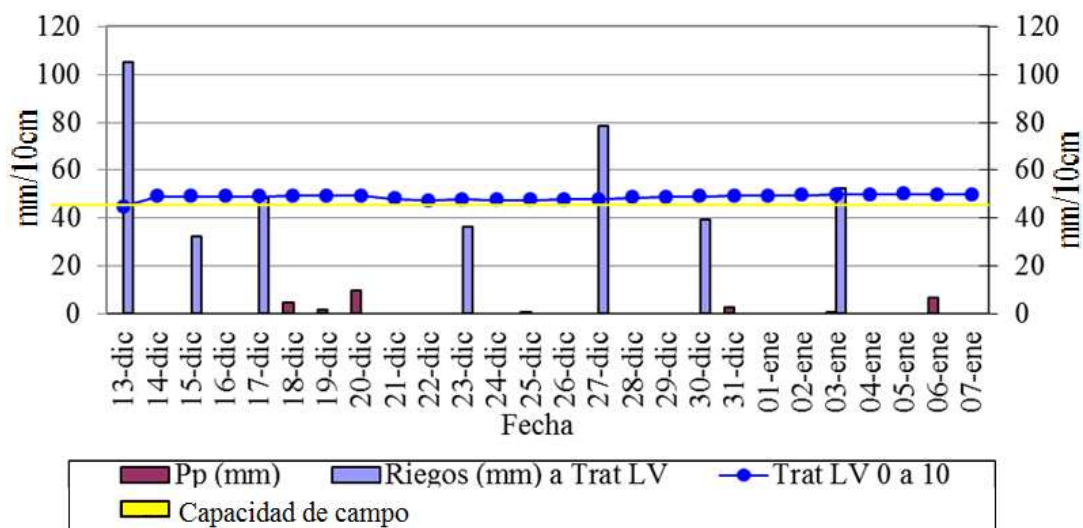


Figura No. 8. Evolución del contenido de humedad del suelo en tratamiento LV medida con sensores TDR.

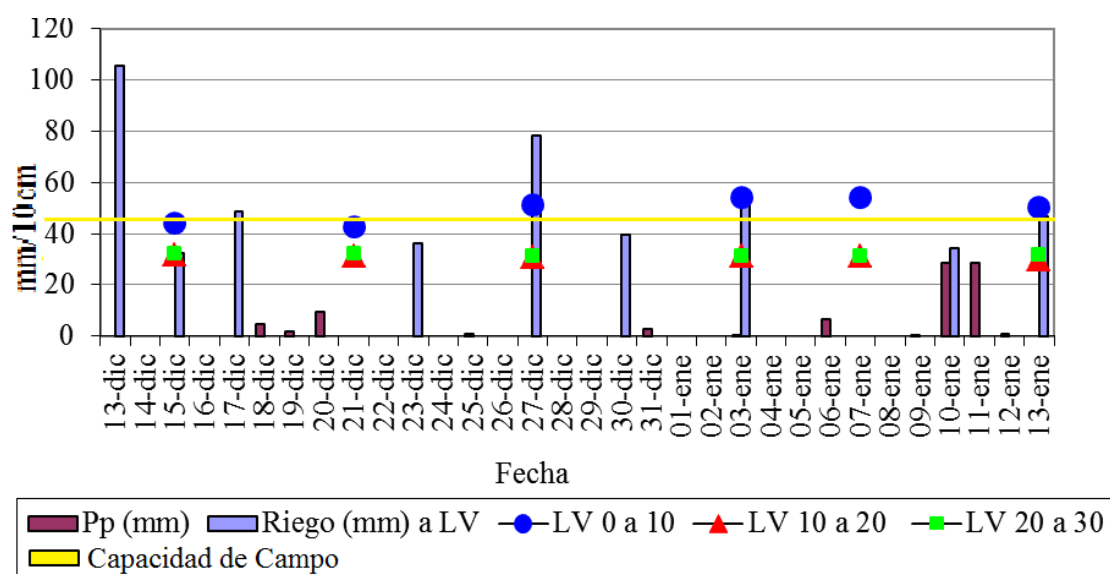


Figura No. 9. Evolución del contenido de humedad del suelo en tratamiento LV medida con sonda de neutrones.

Podemos observar que en las figuras No. 8 y 9 las lecturas obtenidas a partir de diferentes métodos dan valores de humedad de suelo similares.

4.3.3 Tratamiento RR

A continuación se presenta en la figura No. 10 la evolución del contenido de agua en el suelo de acuerdo al balance hídrico FAO Penman- Montheith utilizado como criterio para regar este tratamiento.

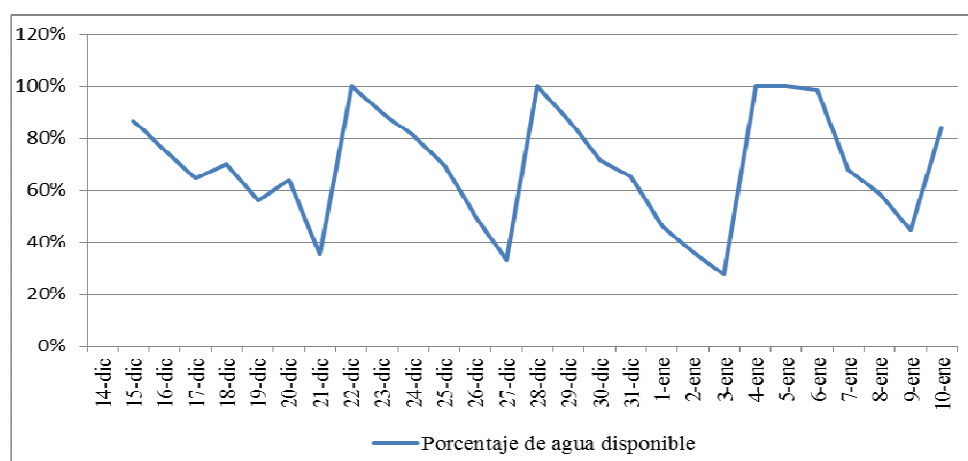


Figura No. 10 Porcentaje de agua disponible en el suelo obtenido a través de balance hídrico FAO Penman – Montheith.

Observando la figura anterior, podemos ver como el tratamiento RR recibió los riegos correspondientes cuando el contenido de agua descendió hasta 25mm de agua disponible, correspondiente aproximadamente al 50% del agua disponible en el perfil del suelo hasta los 30 cm.

El período graficado en la figura No. 11 va desde el 13 de diciembre, cuando se inició el tratamiento RR, hasta el 7 de enero, debido a problemas con la configuración de los sensores. El mismo debió continuar hasta el 13 de enero como aparece en la figura No.13 (mediciones con sonda de neutrones) cuando se estableció la inundación continua.

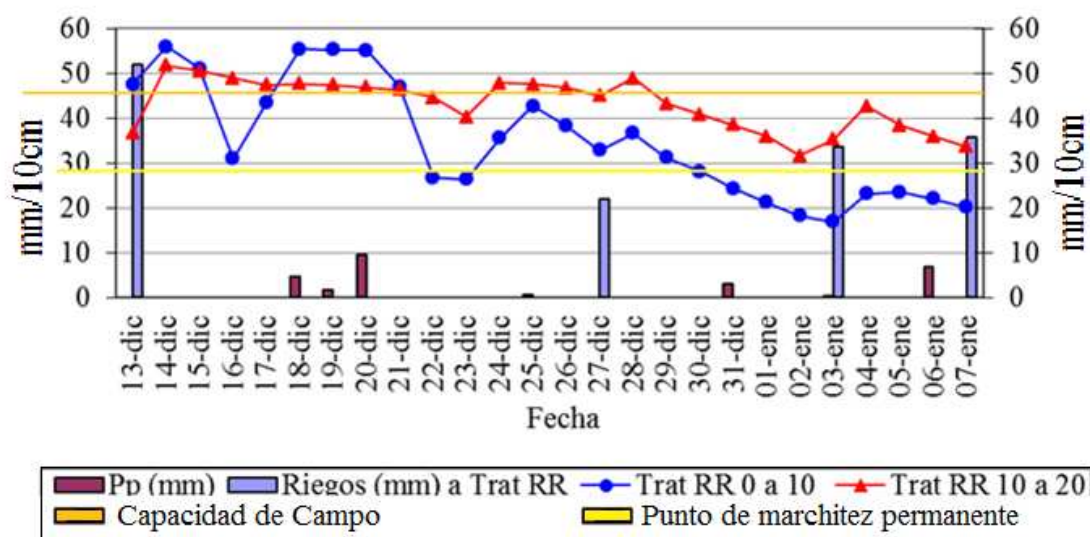


Figura No. 11. Evolución del contenido de humedad del suelo en tratamiento RR medida con sensores TDR

Como podemos ver en el gráfico, el contenido de humedad del suelo en los primeros 10 cm es más variable que entre los 10 y 20 cm de profundidad.

Desde el 15 de diciembre hasta el 21 de diciembre el suelo muestra altos contenidos de humedad debido a filtraciones que ocurrieron desde parcelas adyacentes.

Podemos ver en el gráfico que el tratamiento RR, que pretendía mantener la humedad del suelo entre 50% de agua disponible y saturación pudo llevarse a cabo en forma general. En el período anterior al mes de enero el contenido de humedad del suelo osciló entre saturación y 50% de agua disponible, mostrando luego un descenso importante, incluso por debajo del punto de marchitez permanente en los primeros 10 cm del perfil.

Entre 10-20 cm de profundidad el contenido de humedad del suelo nunca fue menor a 30 mm.

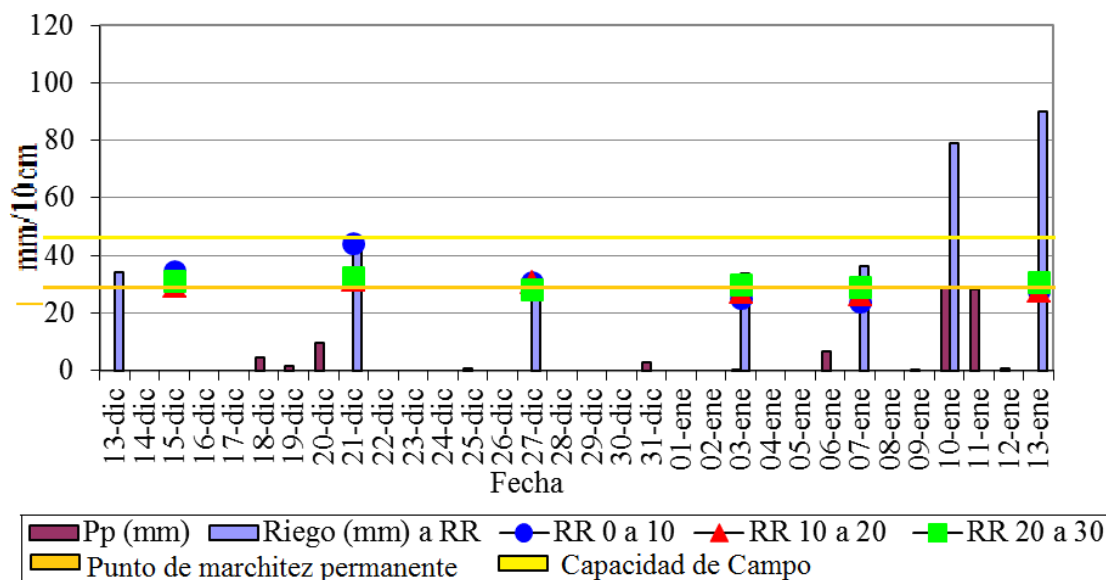


Figura No. 12. Evolución del contenido de humedad del suelo en tratamiento RR medida con sonda de neutrones

Los contenidos de humedad en los suelos obtenidos con sonda de neutrones y sensores concuerdan aproximadamente, con la diferencia de que en el gráfico de sensores aparece un alto contenido de agua debido a que ingresó agua de las parcelas adyacentes, lo cual no se observa en la figura No.12. En la figura No. 12 aparece un riego realizado el 21 de diciembre de 2010, fecha en la cual no se regó la parcela que tenía los sensores, debido a que contenía agua por las filtraciones. Esto explica que los contenidos de agua en el suelo fueran de todas formas similares en ese período.

Los valores de humedad de suelo que aparecen en este gráfico son bajos ya que las mediciones con sonda en este tratamiento siempre fueron realizados en el momento antes de realizar el riego correspondiente.

4.4 EFECTO SOBRE EL CRECIMIENTO

4.4.1 Número de plantas y panojas por m²

El número de plantas por m² no fue afectado por el manejo de riego como se observa en el siguiente cuadro y podemos destacar que en todos los tratamientos, el número de plantas estuvo por encima del número de plantas recomendado de 180-200 plantas/m² en el cultivo de arroz para poder alcanzar rendimientos óptimos.

Estos resultados concuerdan con ensayos nacionales realizados por Molina et al. (2007), Cantou et al. (2008), Cantou et al. (2009), quienes no encontraron diferencias significativas en número de plantas con los cultivares INIA Olimar y El Paso 144 en respuesta al momento de inundación.

Cuadro No.10. Número de plantas, y panojas por m² según tratamiento de riego.

Tratamiento	Plantas/m ² (29 DDE)	Panojas/m ² (cosecha)
IC ₁₅	307	459bc
IC ₃₀	268	524ab
IC ₄₅	242	443bc
LV	275	584a
RR	281	368c
Media	275	476
CV (%)	18	22
P > F	ns	0.02

DDE: días después de emergencia, P: Probabilidad, ns: diferencias estadísticamente no significativas. Letras diferentes en una misma columna difieren significativamente para $p < 0,05$.

La fecha de inundación no afectó en forma clara el número de panojas por m².

4.4.2 Producción de materia seca de parte aérea

En cuanto a la producción de materia seca, las diferencias iniciales en el cultivo entre tratamientos son mayores que al final del ciclo, como se puede apreciar en el cuadro No. 11 en términos absolutos, estas diferencias no parecen tan importantes al inicio del cultivo, aunque si lo son en términos relativos. Por ejemplo, en la medida tomada a los 29 DDE, IC15, presentó 90% más de materia seca que el promedio de los tratamientos. Ello es resultado de que este tratamiento había permanecido 14 días con lámina de agua a la fecha del muestreo, mientras que el resto de los tratamientos aún no habían sido regados. El cultivo bajo el tratamiento IC15 fue el primero que cerró entrefilas. Esta observación también fue realizada Molina et al. (2007).

Estos resultados difieren a los obtenidos por Cantou et al. (2008). En ese ensayo no se encontraron diferencias en los momentos de inundación para materia seca durante el cultivo, excepto en el momento de cosecha, cuando la inundación a 60DDE tuvo mayor producción.

Esta menor producción inicial de MS en inundación tardía favoreció la prevalencia de malezas, principalmente *Cynodon dactylon*.

Cuadro No. 11. Producción de materia seca (kg/ha) por tratamiento de riego, en diferentes etapas fenológicas del cultivo.

Trat.	29 DDE	49 DDE	61 DDE	70 DDE	Floración*	Cosecha
IC ₁₅	545a	3015a	5828a	8590a	14015a	21871ab
IC ₃₀	174b	1780b	3558b	6052b	14405a	23481ab
IC ₄₅	209b	843b	2076b	3985b	15617a	19854bc
LV	229b	1418b	3286b	5625b	13307b	25021a
RR	272b	1621b	2658b	3673b	11094c	17391c
Media	286	1735	3481	5585	13688	21524
CV (%)	58	47	43	36	16	18
P > F	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.099	0.027

* 50% de floración. DDE: días después de emergencia, P: Probabilidad, ns: diferencias estadísticamente no significativas. Letras diferentes en una misma columna difieren significativamente para $p < 0,05$.

En floración, se hacen evidentes las diferencias entre los tratamientos de inundación continua y los de déficit controlado, presentando los primeros mayor cantidad de materia seca (MS). Entre los tratamiento de déficit controlado, LV presentó mayores valores que RR, siendo diferentes estadísticamente.

Para el muestreo realizado 49 DDE, las diferencias entre IC15 e IC30 se atenuaron ya que estos últimos tenían 19 días con riego en el momento del muestreo. IC45 aún presentaba los menores valores de MS, aunque no se diferenciaba estadísticamente de IC 30.

En resumen, dentro de los tratamientos de inundación continua, el inundado más temprano presentó mayor producción de materia seca hasta 50% floración, siendo superior a todo el resto de los tratamientos, encontrándose diferencias entre IC15 y el resto.

A 50% de floración, no se encuentran diferencias entre los tratamientos de inundación continua a causa de una mayor tasa de crecimiento de los tratamientos inundados más tarde y también como efecto del mayor período transcurrido desde primordio a 50% de floración, el cual es mayor en los tratamientos IC30 e IC45. Estos resultados son concordantes con los de Molina et al. (2007), Cantou et al. (2009) quienes obtuvieron diferencias a inicios del ciclo del cultivo a favor de las inundaciones tempranas, recuperándose posteriormente la producción de materia seca en las inundaciones tardías, aunque en el caso de Molina et al. (2007), en las determinaciones a fin de ciclo tuvieron ventaja las inundaciones más tardías.

El tratamiento LV fue el que presentó los mayores valores de MS en el muestreo realizado a cosecha, es importante resaltar que no fue estadísticamente diferente a IC15 e IC30.

A cosecha RR tuvo diferencias estadísticas en producción de materia seca con IC30. Este resultado no concuerda con los antecedentes internacionales en los cuales no hubieron diferencias entre inundación continua y riegos intermitentes (Belder et al., 2004).

4.4.3 Tasas de crecimiento

Respecto a las tasas de crecimiento (TC) podemos observar en el siguiente cuadro que en la etapa vegetativa, la inundación temprana determina mayores TC. Para los tratamientos RR e IC45 se observaron plantas menos vigorosas durante esta etapa, lo que se ve reflejado en las TC.

Cuadro No. 12. Tasa de crecimiento (kg/ha/día) por tratamiento de riego.

Trat.	28 DDE – Primordio*	Primordio – 50% de floración
IC ₁₅	145	297
IC ₃₀	92	316
IC ₄₅	62	330
LV	100	257
RR	79	272
Media	96	294

*DDE: días después de emergencia, P: Probabilidad, ns: diferencias estadísticamente no significativas. Letras diferentes en una misma columna difieren significativamente para $p < 0,05$.

Posteriormente, a partir de primordio, los tratamientos de inundación continua IC 30 e IC45 mostraron TC compensatorias, que le permitieron alcanzar valores de MS similares a IC15 sobre el fin del ciclo.

Los tratamientos con déficit controlado, en el período previo a primordio mostraron tasas de crecimiento similares a IC30. Pero luego de primordio, si bien aumentaron su TC en forma importante, no lograron alcanzar los valores que se observaron en los tratamientos con inundación continua.

A través de la relación de tasas de crecimiento Pos/Pre primordio que se representa en la figura No. 13 podemos observar este efecto de compensación en algunos de los tratamientos.

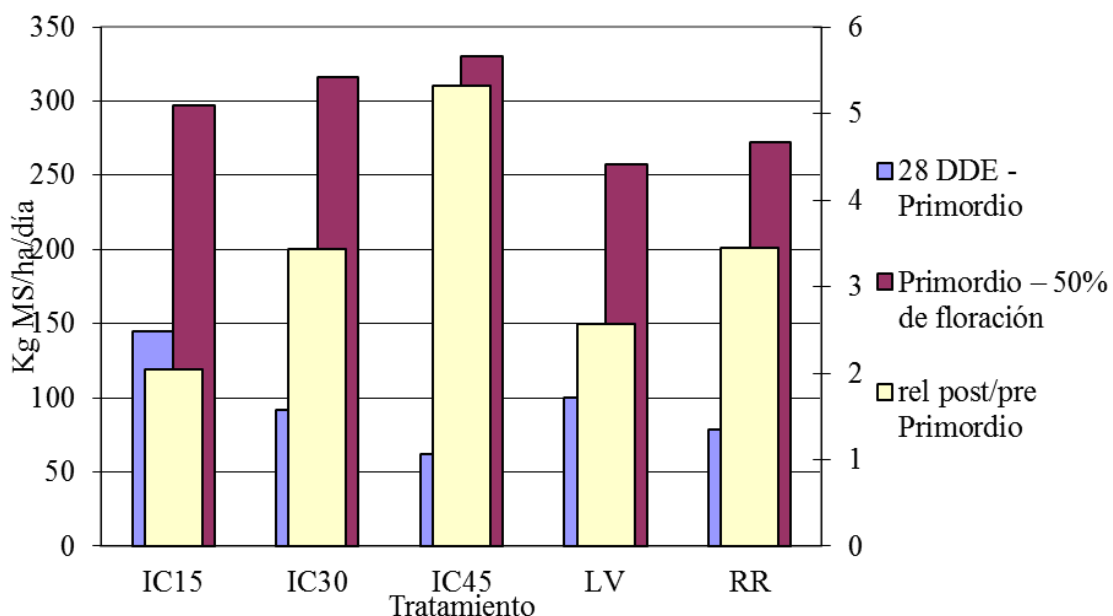


Figura No. 13. Tasas de crecimiento para distintas etapas del cultivo

4.4.4 Relación parte aérea/raíz

Como podemos observar en la figura No. 14, respecto a la determinación de raíces y parte aérea realizada a primordio, IC45 presenta los menores valores de materia seca total (raíces más parte aérea). Dentro de los tratamientos de inundación continua, a medida que atrasamos el riego, menor es la producción de materia seca total. Comparando los tratamientos de déficit controlado, RR presenta más materia seca total que LV y comparando estos últimos dos con IC30, LV es similar a IC30, mientras RR presenta mayor materia seca que LV e IC30.

Estas diferencias pueden ser atribuidas a que RR presentó mayor producción de materia seca de raíces que LV e IC30, por ello su relación parte aérea/raíces es la menor de todos los tratamientos.

Comparando la producción de materia seca de raíces se pudo determinar que el tratamiento RR presentó la mayor cantidad de raíces de todos los tratamientos, por lo que probablemente este manejo de riego estimule el crecimiento de raíces.

En el caso de IC45, por ser el tratamiento más exigente desde el punto de vista del déficit hídrico al que están sometidas las plantas, se destaca además de su baja

producción de materia seca total, que es el tratamiento con mayor relación parte aérea/raíz. Estos resultados son diferentes a los obtenidos por Molina et al. (2007) quien obtuvo una menor producción de raíces inicialmente, pero a primordio, la inundación tardía a 60 DDE presentaba los mayores valores.

Respecto a la producción de materia seca de parte aérea, se pueden observar las mismas tendencias que en la determinación de materia seca/ha presentada en la figura No.14.

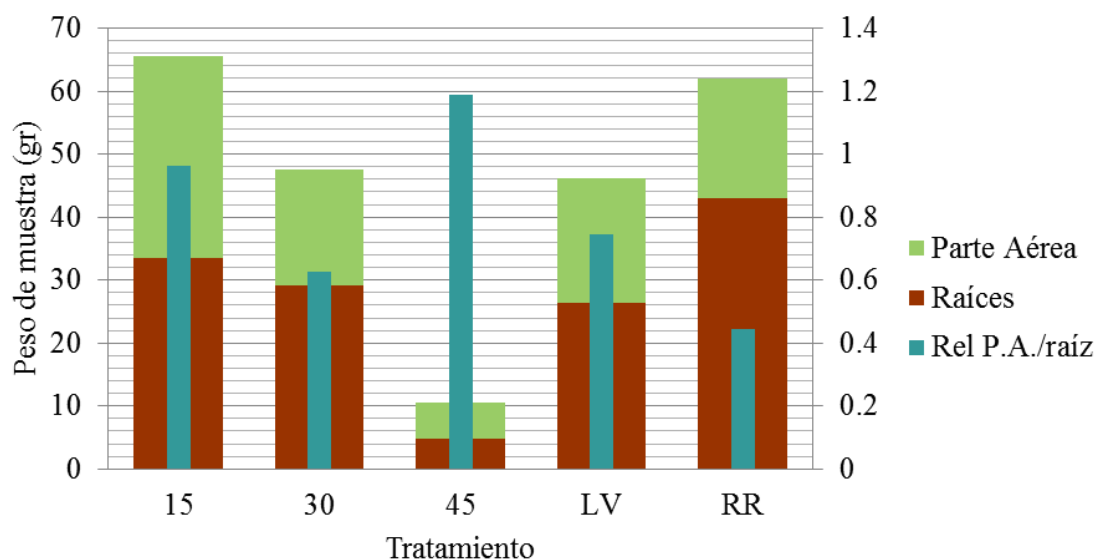


Figura No. 14. Relación parte aérea/raíz a primordio

En la figura No. 15 se presentan los datos de materia seca de parte aérea y raíz, y la relación entre materia seca de parte aérea y raíz realizada a 50% de floración de cada tratamiento.

A 50% de floración, la producción de materia seca total, es consistente con las tasas de crecimiento determinadas desde 28 DDE a primordio y de primordio a 50% de floración. Es decir, dentro de los tratamientos de inundación continua, los inundados más temprano, tuvieron mayores tasas de crecimiento hasta primordio; situación que se revierte desde primordio a floración, lo cual explica que en esta determinación de materia seca total, los tratamientos de inundación más tardía presentaran mayores valores, más allá que no se cuente con análisis estadístico de los datos.

En este muestreo podemos concluir que el tratamiento de inundación continua tardía superó al de inundación continua temprana en materia seca a 50% de floración no solo por presentar mayores tasas de crecimiento desde primordio, sino además por presentar mayor cantidad de días a 50% de floración (37 vs 41 días).

Observando la producción de materia seca total de los tratamientos con déficit controlado, LV presenta similares valores a IC30. Por otra parte, RR produjo más materia seca total; esto se explica por una mayor producción de raíces que se dio principalmente desde emergencia a primordio.

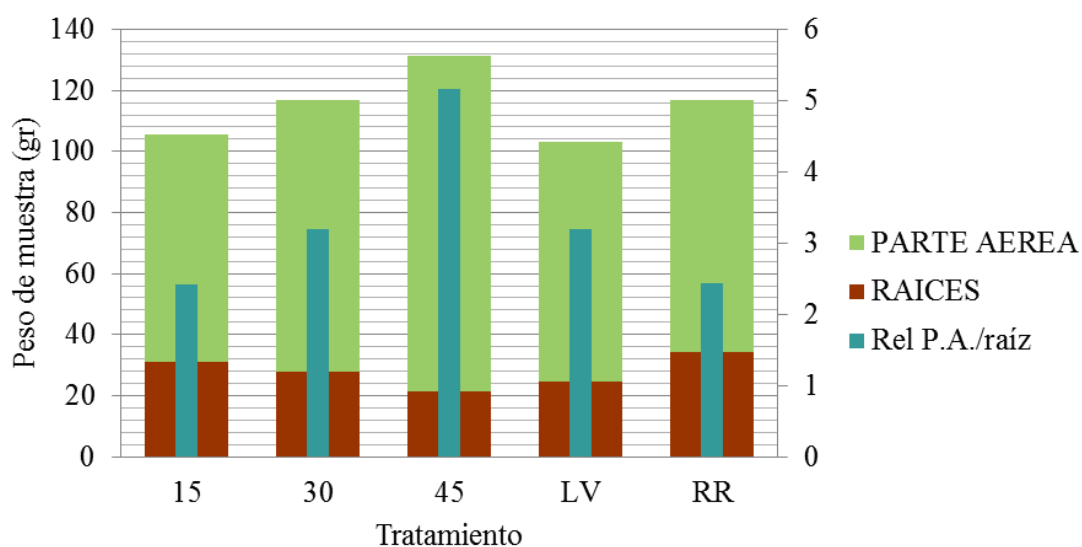


Figura No. 15. Relación parte aérea/raíz a 50% de floración

4.4.5 Altura de planta

En el siguiente cuadro se muestra la evolución de la altura de planta en el ciclo del cultivo para los diferentes tratamientos.

Cuadro No. 13. Altura de planta (cm) por tratamiento de riego, en diferentes etapas fenológicas del cultivo.

	29 DDE	49 DDE	54 DDE	58 DDE	70 DDE	75 DDE	90 DDE	103 DDE	125 DDE
IC ₁₅	27a	48 a	55a	65a	77a	82a	86a	84a	91a
IC ₃₀	15b	39 b	42b	52b	63b	72bc	79abc	80b	88a
IC ₄₅	15b	21 d	29d	42d	55d	62cd	76bc	80b	87a
LV	16b	35 b	40b	51b	65b	74ab	82ab	84a	87a
RR	16b	30 c	35c	35c	48c	57d	73c	79b	82b
Media	18	35	40	49	62	69	79	81	87
CV (%)	28	27	23	22	17	14	7	4	4
P > F	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.10	<0.01

Respecto a la altura de las plantas, se puede apreciar en el análisis estadístico que inicialmente hubo mayores diferencias entre tratamientos. A medida que transcurre el ciclo del cultivo, estas diferencias se reducen. Esta evolución de la altura de plantas es coincide con los resultados de Molina et al. (2007), Cantou et al. (2008), quienes encontraron ventajas iniciales a favor de inundaciones tempranas, con recuperación posterior de las inundaciones tardías.

El tratamiento LV no tuvo diferencia en altura con IC30 para la mayoría de los muestreos. En cambio, el régimen de riego aplicado a RR afectó en forma importante la altura de las plantas, este tratamiento desde 49DDE fue el que presentó menor altura y no logro compensar la misma hacia final del ciclo, siendo significativamente menor al resto de los tratamientos a los 125DDE. Se observa que en la mayoría de los muestreos presentó la menor altura promedio (comparado con IC30 y LV). Estos resultados concuerdan con Martini et al. (2009) quién reporta mayor altura para plantas manejadas con riego continuo.

Otro tratamiento que presentó bajos valores de altura durante gran parte del ciclo fue el IC45, aunque este compensó su crecimiento y obtuvo la misma altura que IC15 e IC30 a los 125DDE.

En resumen, las diferencias a favor de inundaciones tempranas se reducen a medida que avanza el ciclo.

4.5 COMPONENTES DEL RENDIMIENTO

Se realizó determinación de componentes de rendimiento, los resultados se presentan a continuación.

Cuadro No. 14. Efecto del tratamiento de riego sobre los componentes del rendimiento.

Trat.	I.C.	No. granos/ panoja	No. granos/m ²	Esterilidad de granos (%)	Peso mil granos (gr)
IC ₁₅	0,51	126ab	57627ab	15,5abc	27,9a
IC ₃₀	0,48	132ab	68788a	18,1ab	27,3ab
IC ₄₅	0,54	141a	62593a	11,3bc	26,4c
LV	0,43	114bc	65924a	19,1a	26,8bc
RR	0,58	98c	36160b	8,4c	27,3ab
Media	0,51	122	58218	14,48	27,14
CV (%)	20	19	31	45	2
P > F	ns	0,05	0,05	0,05	<0,01

DDE: días después de emergencia, P.: Probabilidad, I.C.: Índice de cosecha, ns: diferencias estadísticamente no significativas. Letras diferentes en una misma columna difieren significativamente para $p < 0,05$.

En cuanto al índice de cosecha, no se detectaron diferencias significativas para los distintos tratamientos.

En lo que respecta a los componentes del rendimiento, los tratamientos de déficit controlado fueron los que presentaron menor número de granos, siendo RR estadísticamente diferente a los tratamientos de inundación continua.

Para la variable granos/m² RR también fue el que presentó menor número de granos aunque no diferente estadísticamente a IC15.

La tendencia en % de esterilidad fue que RR obtuvo el menor porcentaje aunque las diferencias no son claras estadísticamente.

En peso de 1000 granos IC45 fue el que presentó el menor valor aunque no diferente significativamente de LV.

El tratamiento que presentó menor número de granos por panoja presenta menor porcentaje de esterilidad, resultados concordantes con Cantou et al. (2009).

4.6 CALIDAD MOLINERA

En este punto se analizará cómo fueron afectados los componentes de calidad industrial frente a los diferentes tratamientos de riego. Dichos resultados se presentan en el cuadro No. 15.

Cuadro No. 15. Efecto del tratamiento de riego sobre la calidad molinera.

Trat.	Blanco Total (%)	Entero (%)	Yesado (%)	Manchado (%)	Quebrado (%)	% H cosecha	Verde (%)
IC ₁₅	70,4 ab	63,6	2,4	0,15	6,8ab	23,5a	6,3b
IC ₃₀	71,4 a	66,3	3,4	0,20	5,7b	22,9ab	6,0b
IC ₄₅	70,9 a	63,3	2,7	0,15	7,6a	20,9c	9,5a
LV	69,3b	64,4	3,3	0,13	4,9c	22,3abc	5,0b
RR	70,7 a	65,5	4,5	0,18	5,1bc	21,5bc	5,7b
Media	71	64,6	3,3	0,16	6,0	22,3	6,5
CV (%)	1	3	45	51	29	5	37
P > F	0,10	ns	ns	ns	0.10	0.05	0,05

Para las variables de calidad molinera, sólo se detectaron diferencias para blanco total, con un 10% de probabilidad de que sean iguales. Mientras que para el resto de las variables no hubo diferencias significativas entre tratamientos. Roel et al. 2005 no encontró diferencias para esta variable en INIA Olimar.

Los valores obtenidos para todas las variables de calidad molinera están dentro de los estándares exigidos por la industria.

Era de esperar que los tratamientos de momento de inundación no afectaran la calidad molinera ya que fueron aplicados a inicio del cultivo durante la etapa vegetativa. No así si los tratamientos hubieran sido de momento de retiro de agua al final del cultivo.

Los ensayos de Molina et al. (2007), Cantou et al. (2009) si encontraron algunas diferencias entre momentos de inundación para % de grano entero y % de grano yesado, aunque igualmente todos los tratamientos presentaron valores aceptables para la industria.

4.7 ENFERMEDADES

Previo a cosecha se realizó un muestreo para los patógenos *Rhizoctonia oryzae* y *Sclerotium oryzae* que se observa en el siguiente cuadro.

Cuadro No. 16. Efecto del tratamiento de riego sobre las enfermedades del cultivo

Trat.	ISR	ISS
IC ₁₅	0,43bc	41,1
IC ₃₀	0,80ab	40,1
IC ₄₅	0,08c	39,3
LV	1,08a	41,5
RR	0,48abc	34,5
Media	0,57	39,3
CV (%)	79	16
P > F	<0.01	ns

Aunque en el índice de severidad de rhizoctonia (ISR) se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, los valores son bajos por lo que se esperaría que no se afecte el rendimiento. En el ensayo llevado a cabo por Molina et al. (2007) no se encontraron diferencias significativas. Cantou et al. (2009) encontró diferencias con tendencias a un mayor índice en inundaciones tardías.

En el caso del índice de severidad de sclerotium (ISS) no se encontraron diferencias significativas y valores también son bajos para esperar efectos sobre el rendimiento. Molina et al. (2007) tampoco encontró diferencias significativas para este patógeno. Cantou et al. (2009) encontró diferencias para este patógeno, pero en niveles bajos de incidencia, por lo que no se esperaría que afectara el rendimiento del cultivo.

4.8 EFECTO SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DEL AGUA

En este punto se analiza las variables de mayor interés de este trabajo como son rendimiento, consumo de agua y productividad del agua. En el siguiente cuadro aparece el análisis estadístico de las tres variables.

Cuadro No. 17. Efecto del sistema de riego sobre el rendimiento, el consumo y la productividad del agua para la variedad El Paso 144 considerando agua de riego.

	Rendimiento (kg)	Consumo de agua* (m ³ /ha)	Prod. del agua (kg/m ³)
Riego continuo			
IC ₁₅	11091	11854 a	0,95b
IC ₃₀	11171	11056 ab	1,02b
IC ₄₅	10642	8980bc	1,18 ab
Riego con déficit controlado			
LV	10840	10279 b	1,06b
RR	10170	7411c	1,41 a
Media	10783	9916	1,12
CV (%)	7	21	20
P > F	ns	<0.01	0,02

* Agua suministrada por riego.

DDE: días después de emergencia, P: Probabilidad, CV: coeficiente de variación, ns: diferencias estadísticamente no significativas. Letras diferentes en una misma columna difieren significativamente para $p < 0,05$.

4.8.1 Rendimiento

El rendimiento en grano no presentó diferencias significativas entre tratamientos y su promedio fue 10783 kg/ha.

Los tratamientos IC15 e IC30 tuvieron rendimientos similares. El promedio entre ambos fue 11131 kg/ha, 4,6 % por encima de IC45. Si comparamos el promedio de rendimiento de los tratamientos de déficit controlado con el IC30, los primeros rindieron 6% menos que IC30. El menor rendimiento fue en el tratamiento RR con un rendimiento de 10783 kg/ha.

Estos resultados difieren a los obtenidos por Lavecchia et al. (2004), quien observó diferencias significativas a favor de la inundación temprana en comparación con inundación tardía y riego intermitente.

Por otra parte, hay resultados concordantes como los obtenidos en los años 1999-2000, en las variedades INIA Tacuarí, INIA Caragatá y El Paso 144, y en las safras 2007-2008 con INIA Olimar y El Paso 144, donde no hubo diferencias en rendimiento.

4.8.2 Consumo de agua

Los consumos de agua registrados no deben ser extrapolados a nivel de chacra, debido a que solo consideran el agua que ingresa a la parcela pero no las pérdidas que ocurren antes.

El consumo de agua suministrada por riego sí presentó diferencias a un alto nivel de confianza ($P=0,01$), presentándose los mayores consumos en los tratamientos IC15 e IC30, que no se diferencian estadísticamente de LV. Por otra parte los menores consumos ocurrieron en los tratamientos IC45 y RR, aunque IC45 no presentó diferencias significativas con IC30.

En las siguientes figuras 16 y 17, se resume el consumo relativo y absoluto de agua en las etapas de baños (desde siembra a inicio de los tratamientos) y por otra parte, el agua consumida a partir de iniciados los tratamientos, hasta que se dejó de suministrar agua a las parcelas.

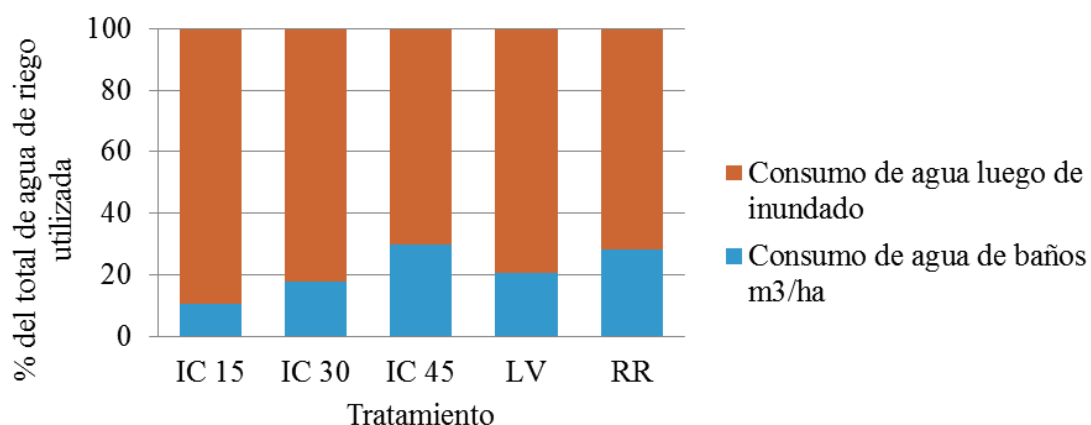


Figura No. 16. Consumo relativo de agua de riego según tratamiento

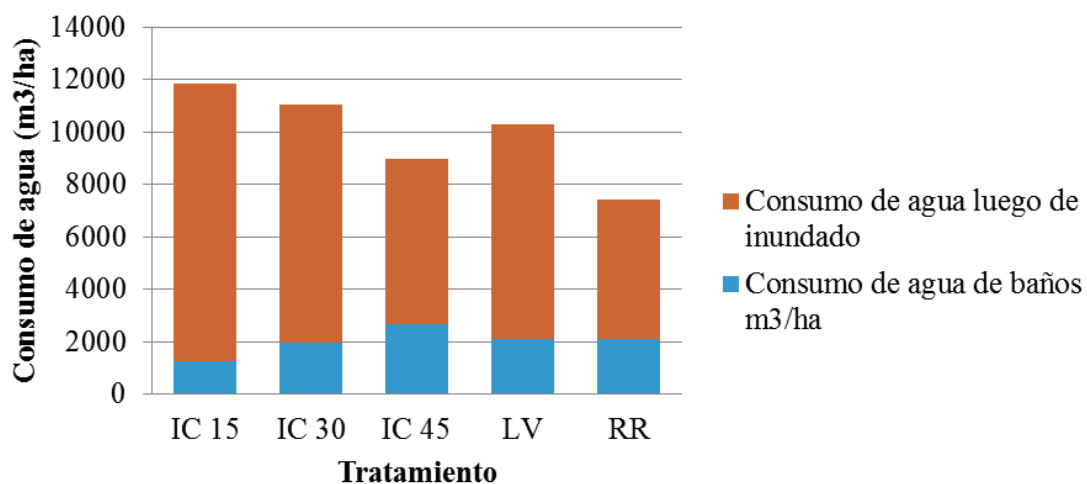


Figura No. 17. Consumo absoluto de agua de riego según tratamiento

Se puede apreciar que a medida que se inunda más tarde, el consumo de agua relativo por concepto de baños es mayor respecto al consumo total de agua (figura 16) y también en términos absolutos (figura 17). El tratamiento LV presentó similar consumo relativo en baños a IC30. Mientras que RR presentó similar consumo absoluto de agua

en baños a IC30 y LV, pero como consume menos agua en total de riego, en términos relativos, la etapa de baños representa un mayor porcentaje del total.

4.8.3 Productividad del agua de riego

El promedio de productividad de agua de todos los tratamientos fue $1,12 \text{ kg/m}^3$ de agua de riego, el cual fue levemente inferior al hallado por Cantou et al. (2009).

En lo que tiene que ver con la productividad del agua, podemos decir que RR presentó la mejor productividad por unidad de volumen de agua utilizado aunque no difirió de IC45. Por lo tanto el componente que determinó una mayor eficiencia de producción del agua fue el consumo, ya que el rendimiento no presentó diferencias significativas entre tratamientos

Si comparamos RR con IC30, el primer tratamiento tuvo una eficiencia 38% superior a IC30 es significativamente mayor a IC30 explicada por un consumo de agua de riego 33% inferior de RR respecto a IC30.

Cabe destacar que IC45 recibió sobre el fin del ciclo (al igual que IC30, LV y RR) 77.5 mm de precipitaciones que no incidieron en IC15 ya que este había culminado su período de riego, por lo que puede estar explicando, en parte, el menor consumo de estos tratamientos.

4.8.4 Productividad del agua de riego y precipitaciones

En el cuadro No. 18 se puede observar que no hubo diferencias significativas para la variable productividad del agua cuando se incluyó en el consumo de agua lo aportado por las precipitaciones. Los valores de productividad del agua son buenos respecto a los valores que aparecen en la bibliografía. Por ejemplo valores de 0,2 a 0,4 (kg/ha) citados en ensayos en el centro y norte de India, 0,3 a 1,1 (kg/m³) en ensayos en Filipinas.

A pesar de que las diferencias no fueron significativas, la eficiencia de RR fue 21% superior a IC30. Böcking et al. (2010) tuvieron una productividad en el sistema de riego intermitente de 0,85 y para riego continuo 0,79 kg/m³ de agua utilizada. En este caso se obtuvo una eficiencia 7% superior con sistemas de riego intermitente.

Los valores de productividad que se obtuvieron en el ensayo fueron similares a Cantou y Roel (2010).

Cuadro No. 18. Efecto del sistema de riego sobre el consumo y la productividad del agua, considerando el agua de riego y lluvia.

	Consumo de agua* (m ³ /ha)	Productividad del agua (kg/m ³)
Riego continuo (en DDE)		
IC ₁₅	14713	0,76
IC ₃₀	14686	0,77
IC ₄₅	12610	0,84
Riego con déficit controlado		
LV	13908	0,78
RR	11041	0,93
Media	13392	0,82
CV (%)		13
P > F		ns

* Agua suministrada por riego más precipitaciones. DDE: días después de emergencia, P: Probabilidad, CV: coeficiente de variación, ns: diferencias estadísticamente no significativas. Letras diferentes en una misma columna difieren significativamente para $p < 0,05$.

5. CONCLUSIONES

El tratamiento IC15, que se comenzó a regar antes, fue el que presentó el ciclo más corto. A medida que el inicio del riego se atrasa el ciclo del cultivo tiende a prolongarse. Lo contrario ocurre con los días de riego. A medida que iniciamos el riego más temprano (IC15), el cultivo tiene más días de riego.

Los tratamientos de déficit controlado (LV y RR) e inundaciones tardías presentaron menor crecimiento y producción de materia seca inicial, pero luego muestran un crecimiento compensatorio, alcanzando similares niveles a los tratamientos con inundaciones tempranas (IC15 e IC30).

Con inundaciones tempranas el establecimiento y cierre de entrefilas se da más rápido, determinando una mayor competencia con las malezas y por lo tanto un mejor control. Por lo que el uso de sistemas de déficit controlado requerirá a priori un seguimiento más cercano de la eficacia del control de malezas.

Inundaciones más tempranas determinaron que las condiciones climáticas (luminosidad y temperatura), previas y posteriores a floración fueran más favorables que para las inundaciones tardías.

Los manejos de riego evaluados no afectaron significativamente la productividad del cultivo, en promedio esta fue 10783 kg/ha.

La inundación tardía exige un mayor número de baños, efecto más marcado aún en años secos como la zafra 2010/2011 (los baños para nacer y homogeneizar representaron 21% del agua de riego para el promedio de los tratamientos).

En esta zafra, los resultados fueron alentadores desde el punto de vista que se pudo mejorar la productividad de uso de agua, sin perjudicar los rendimientos, y reduciendo en forma importante el consumo de agua, ya sea mediante un manejo de inundación tardía (IC45) o mediante un manejo con déficit controlado con riego a partir de los 30 días de emergencia. Con sistemas de déficit controlado se puede mejorar la productividad del agua, 1,41 kg/m³ con el tratamiento RR comparado con 1,02 kg/m³ en IC30.

6. RESUMEN

En el año agrícola 2010 – 2011 se instaló un ensayo en la Unidad Experimental “Paso de la Laguna” perteneciente a INIA Treinta y Tres, cuyo objetivo fue determinar que manejo de riego permitiría optimizar la productividad del agua de riego (kg de arroz/m³ de agua), bajo diversos manejos del riego en la variedad de origen “El Paso 144” (*Oryza sativa*) de origen índico. El ensayo fue realizado en la UEPL. El manejo del cultivo realizado fue similar al manejo comercial. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones. Los tratamientos de riego fueron cinco: tres de ellos bajo inundación continua (15 días después de emergencia, 30 DDE, 45 DDE), y dos consistieron con riegos con déficit controlado (LV y RR). En el tratamiento LV, se estableció una lámina 7 +/- 2 cm, y se suspendió el riego hasta que el suelo se encontraba en estado encharcado. En ese momento se restablecía la lámina de agua y así sucesivamente. En el tratamiento RR, se inició el riego saturando el suelo (sin lámina de agua) y cuando se evapotranspira la mitad del agua disponible en el suelo (25mm para todo el perfil) se volvía a regar hasta que quedaba saturado nuevamente, y así sucesivamente. Se monitoreó el contenido de humedad del suelo a diferentes profundidades a través del método gravimétrico, sonda de neutrones y sensores TDR con el objetivo de poder comparar posteriormente la evolución de la humedad del suelo a lo largo del cultivo. Se calculó la reposición de la lámina de agua a través de un balance hídrico utilizando el método de FAO Penman-Monteith, a partir de los datos suministrados por la estación meteorológica de la U.E.P.L. Se tomaron además medidas de materia seca y altura en los diferentes estadios fenológicos del cultivo para poder observar la evolución de estas variables a lo largo del cultivo. Los resultados obtenidos bajo los diferentes manejos de riego no afectaron en forma significativa los rendimientos del cultivo, aunque sí afectaron el consumo de agua de riego, determinando que se hallaran diferencias significativas en la productividad del agua a favor de los tratamientos de riego restringido e inundación continua a los 45 DDE. Tomando en cuenta el consumo de agua de riego más precipitaciones, no hubieron diferencias significativas entre los tratamientos de riego en rendimiento ni en productividad del agua. Estos resultados evidencian la posibilidad de aumentar la eficiencia de uso de agua, utilizando determinados regímenes de riego con déficit controlado, tomando mucha importancia otros aspectos de manejo del cultivo, sistematización de la chacra y manejo de malezas principalmente. El riego con inundación temprana permitió la coincidencia del período crítico del cultivo con las mejores condiciones de radiación y temperatura para el cultivo. Las implicancias del manejo de riego que el productor

decida llevar a cabo, dependen de su posición como comprador o poseedor del valioso recurso agua.

Palabras clave: *Oryza sativa* L.; Arroz; Riego; Momento de inundación; Riego restringido; Déficit controlado; Productividad del agua; Rendimiento; Días después de emergencia.

7. SUMMARY

In 2010 – 2011 agriculture year was installed the experiment in the Experimental Test "Paso de la Laguna" belonging to INIA Treinta y Tres, whose objective was to determine which irrigation management would optimize the productivity of irrigation water (kg arroz/m³ of water) under different management of irrigation in the variety "El Paso 144" (*Oryza sativa*) of Indian origin. The trial was conducted in the UEPL. Crop management made was similar to commercial management. The experimental design was a randomized complete block with 4 replications. There were five irrigation treatments, three of them were under continuous flooding (15 days after emergence, 30 DAE, 45 DAE), and two of them consisted in controlled irrigation deficit (LV and RR). In LV treatment, irrigation was established with a 7 +/- 2 cm flood sheet, and watering was stopped until the soil was waterlogged state. Water sheet was restored in that moment, and so on. In the RR treatment, irrigation began saturating the ground (no water depth) and irrigation was suspended until half of the available water in soil (25mm wide profile) was evapotranspired. In that moment irrigation was restarted until soil was saturated, and so on. Is monitoring the moisture content of the soil at different depths through the gravimetric method, neutron probe and TDR sensors in order subsequently to compare changes in soil moisture along the crop. We calculated the replacement of the sheet of water through a water balance method using the FAO Penman-Monteith, from data supplied by the meteorological station of the UEPL. We also took measures of dry matter and height in different crop phenological stages to observe the evolution of these variables over the crop. The results obtained under different irrigation managements not significantly affect crop yields, but did affect the consumption of irrigation water, which were held by determining significant differences in the productivity of water for limited irrigation treatments and flooding continued at 45 DAE. Taking into account the consumption of irrigation water more rainfall, there were no significant differences between irrigation treatments on yield or water productivity. These results show the possibility of increasing water use efficiency, using some controlled deficit irrigation, taking into account lots of other important aspects of crop management, systematization of the field and weed management mainly. The early flood irrigation allowed the coincidence of the critical period of the crop with the best conditions of radiation and temperature for the crop. The implications of irrigation management that the producer decides to carry out, depend on its position as a buyer or holder of precious water resources.

Key words: *Oryza sativa* L; Rice; Irrigation; Flood Time; Restricted watering; Controlled deficit; Water productivity; Yield; Days after emergence.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. ANDRADE, A X.; JACONDINO DE CAMPOS, C.; SCHERWINSKI, J E.; HERMAN, V. 2000. Influência da temperatura mínima, radiação solar e precipitação na produtividade de arroz irrigado. (en línea). Rio de Janeiro, s.e. pp. 63-67. Consultado 25 abr.2012. Disponible en <http://www.cbmet.com/cbm-files/12-7b92664e5c595b1ff6e31657dc655.pdf>
2. BELDER, P.; BOUMAN, B.A.M.; CABANGON, R.; GUOAN, L.; QUILANG, E.J.P.; YUANHA, L.; SPIERTZ, J.H.J; TUONG, T.P. 2004. Effect of water-saving irrigation on rice yield and water use in typical lowland conditions in Asia. *Agricultural Water Management*. 65: 193-210.
3. BENAVIDEZ, R.A. 2006. El arroz, su cultivo y sustentabilidad en Entre Ríos. Entre Ríos, Argentina, Universidad Nacional de Entre Ríos/Universidad Nacional del Litoral. pp. 83-84.
4. BHUIYAN, S.I.; SATTAR, M.A.; KHAN, M.A.K. 1995. Improving water use in rice irrigation through wet-seeding. *Irrigation Science*. 16:1-8.
5. BOUMAN, B.A.M.; TUONG, T.P. 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. *Agricultural Water Management*. 49(1): 11-30.
6. BUENO, W.; TRINIDADE DA COSTA, J.E.; DA SILVA, A.; DE MAGALHAES, M.; REIS, P.R.; STEINMETZ, S.; MORAIS, A.C.; BIGOLIN, J. 2009. Eficiência de uso da agua de cultivares de arroz irrigado. In: Congresso Brasileiro, Arroz Irrigado 2009; Esresses e Sustentabilidade, Desafios para a Lavoura Arrozeira (6º., 2009, Centro de Tecnología e Experimentação da Cooperativa Agroindustrial Alegrete LTDA). Anais. Pelotas, Brasil. Sociedade Sul-brasileira de Arroz Irrigado. pp. 223-225.
7. BURIOL, G.; ESTEFANEL, V.; GRAVE, R.; DIDONET, I.; STEINMEIZT, S. 1998. Probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas do ar prejudiciais à fecundação das flores de arroz na região da depressão central, estado do Rio Grande do Sul, Brasil. *Ciência Rural (Santa Maria)*. 28 (1): 1-9.

8. CANTOU, G.; ROEL, A.; MOLINA, F.; AVILA, S.; CASALES, L. 2008. Efecto del momento de la inundación en INIA Olimar y El Paso 144, con y sin aplicación de fungicida. *In*: Arroz; resultados experimentales 2007-2008. Treinta y Tres, INIA. p. irr. (Actividades de Difusión no. 545).
9. _____.; _____.; CASTIGLINI J. I.; UGARTE, J.M. 2009. Efecto del momento de la inundación en INIA Olimar y El Paso 144. *In*: Arroz; resultados experimentales 2008-2009. Treinta y Tres, INIA. p. irr. (Actividades de Difusión no. 571).
10. _____.; _____. 2010. Manejo del riego; productividad del agua. *In*: Arroz; resultados experimentales 2009-2010. Treinta y Tres, INIA. p. irr. (Actividades de Difusión no. 611).
11. CHUNHAI, S.; ZONGTAN, S. 1990. Effect of high humidity and low temperature on spikelet fertility in indica rice. *International Rice Research Newsletter*. 15 (3): 10-11.
12. DE DATTA, S. K. 1981. Principles and practices of rice production. New York, Wiley. 618 p.
13. FAO. 2000. Sistema de información sobre el uso del agua en la agricultura y el medio rural de la FAO. (en línea). Roma. Consultado 19 jul. 2012. Disponible en <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries/uruguay/indexesp.stm>
14. FENG, L.; BOUMAN, B.A.M.; TUONG, T.P.; CABANGON, R.J.; YALONG, L.; GUOAN, L.; FENG, Y. 2007. Exploring options to grow rice using less water in northern China using a modelling approach field experiments and model evaluation. *Agricultural Water Management*. 88: 1-13.
15. HERNÁNDEZ, A.; SAAVEDRA, C.; FERRARI, J.M. 2011. Anuario estadístico agropecuario 2011. (en línea). Montevideo. Consultado 3 may.2012. Disponible en [http://www.mgap.gub.uy/portal/hgxpp001.aspx?7,5,583,O,S,0,MNU;E;27;7:MNU;,"](http://www.mgap.gub.uy/portal/hgxpp001.aspx?7,5,583,O,S,0,MNU;E;27;7:MNU;,)
16. HUMPHREYS, E.; LEWIN, L.G.; KHAN, S.; BEECHER, H.G.; LACY, J.M.; THOMPSON, J.A.; BATTE, G.D.; BROWN, A.; RUSSELL, C.A.; CHRISTEN, E.W.; DUNN, B.W. 2006. Integration of approaches to

increasing water use efficiency in rice-based systems in southeast Australia. *Field Crops Research*. 97: 19-33.

17. KANO-NAKATA, M.; INUKAI, Y.; WADE, L.J.; SIOPONGCO, J.; YAMAUCHI, A. 2011. Root development, water uptake, and shoot dry matter production under water deficit conditions in two cssls of rice: functional roles of root plasticity. *Plant Production Science*. 14 (4): 307-317.
18. LAVECCHIA, A.; MARCHESI, C.; MENDEZ, J. 2004. Manejo del momento de inundación, fertilización nitrogenada y fungicida. *In: Arroz; resultados experimentales 2003-2004*. Tacuarembó, INIA. p. irr (Actividades de Difusión no. 375).
19. MARCOLIN, E.; MUSSOI, V. L.; GENRO, S. A.; LOPES, C. H. 2009. Volume e eficiência de uso de água na cultura de arroz irrigado em função do estágio fenológico de início de irrigação. *In: Congresso Brasileiro Arroz Irrigado; Estresses e Sustentabilidade, Desafios para a Lavoura Arrozeira (6º., 2009, Porto Alegre, RS)*. Anais. Porto Alegre, RS, Palotti, pp. 234-237.
20. _____; MOSER, G.; CEMIN, W.; MUSSOI, V. R. 2011. Productividade e eficiência de uso de água em função de sistemas de manejo da irrigação em arroz irrigado. *In: Congresso Brasileiro Arroz Irrigado; Racionalizando Recursos y Ampliando Oportunidades (7º., 2011, Balneario Camboriú, SC)*. Anais. Itajaí, SC, Epagri/Sosbai. v.2, pp. 335-338.
21. MARTINI, L.F.D.; DE AVILA, L.A.; FRIGUETTO, R.; MARCHESAN, E.; REFATTI, J.P.; VESTENA, G.; DE OLIVERA, S.L.; MASSEY, J.H. 2009. Irrigação intermitente permite redução do volumen de agua aplicado sem afetar a produtividade do arroz irrigado. *In: Congresso Brasileiro Arroz Irrigado; Estresses e Sustentabilidade, Desafios para a Lavoura Arrozeira (6º., 2009, Porto Alegre, RS)*. Anais. Porto Alegre, RS, Palotti, pp. 227-230.
22. MOLINA, F.; ROEL, A.; AVILA, S.; CASALES, L. 2007. Efecto del momento de la inundación en INIA Olimar. *In: Arroz; resultados experimentales 2006-2007*. Treinta y Tres, INIA. p. irr. (Actividades de Difusión no. 502).
23. PATEL, D.P.; ANUP DAS; MUNDA, G.C.; GHOSH, P.K.; BORDOLI, J.S.; KUMAR, M. 2010. Evaluation of yield and physiological attributes of

high-yielding rice varieties under aerobic and flood-irrigated management practices in mid-hills ecosystem. *Agricultural Water Management*. 97: 1269-1276.

24. LA PRENSA. 2011. Se fijaron precios del arroz. (en línea). Salto, UY, jun. 30: 12. Consultado 17 jul. 2012. Disponible en <http://www.google.com.uy/url?sa=t&rct=j&q=aca%20zafra%202010-2011%20la%20prensa%20stirling%201700&source=web&cd=2&ved=0CEsQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.laprensa.com.uy%2Fpaper%2Farchivo%2F2011%2F06%2F30%2Ffiles%2F2011jueves%252030-06.pdf&ei=5FMUUiZEIfM9QTXuIDoBA&usg=AFQjCNGoT4j4QDD Ee6ofgm7qSLB6YZ9mHQ>
25. ROEL, A. 1996. Dos manejos del riego de arroz; “Pin-Point” y baño inundación. Treinta y Tres, INIA. 14 p. (Serie Técnica no. 81).
26. _____.; AVILA, S.; CASALES, L. 2005. Efecto del momento de la inundación en INIA Olimar. In: Arroz; resultados experimentales 2004-2005. Treinta y Tres, INIA. p. irr. (Actividades de Difusión no. 418).
27. URUGUAY. PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA. 2012. Uruguay logró récord en cosecha de arroz de 1:600.000 toneladas en zafra 2010-2011. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 19 jul. 2012. Disponible en <http://www.presidencia.gub.uy/wps/wcm/connect/Presidencia/PortalPresidencia/Comunicacion/comunicacionNoticias/uruguay-logro-record-en-cosecha-de-arroz-de-1600000-toneladas-en%20zafra-2010-2011>

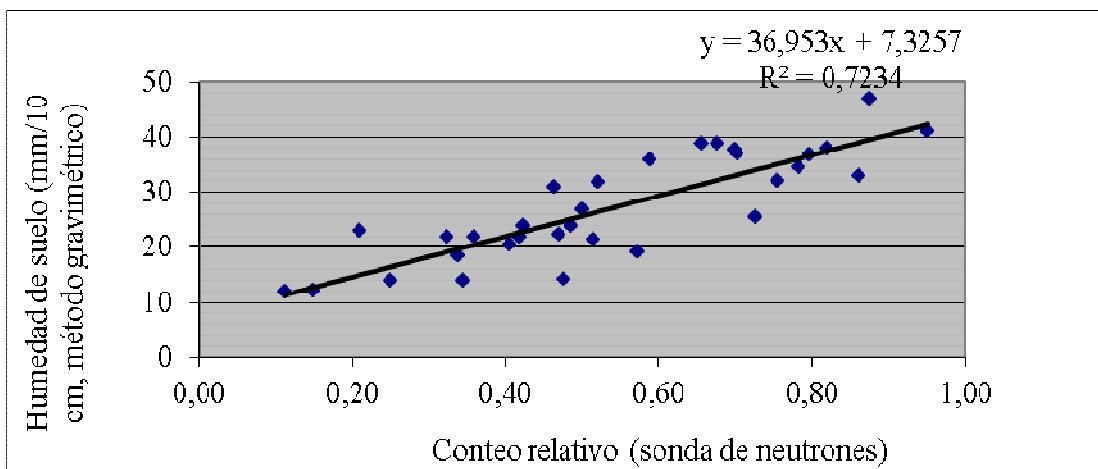
9. ANEXOS

Datos para calibración de sonda de neutrones (0 a 10 cm)

Bloq.	Parc.	Trat.	Prof. cm	Dato sonda	Conteo relativo	Estándar	DAP (gr/cm³)	%H en peso	mm
1	2	RR	0-10 cm	644	0,80	808	1,35	27%	36,76
1	3	45	0-10 cm	380	0,47	808	1,35	17%	22,43
2	6	45	0-10 cm	338	0,42	808	1,35	16%	21,80
3	12	RR	0-10 cm	547	0,68	808	1,35	29%	38,80
3	13	45	0-10 cm	169	0,21	808	1,35	17%	22,98
2	6	45	0-10 cm	263	0,32	812	1,35	16%	21,84
3	13	45	0-10 cm	121	0,15	812	1,35	9%	12,27
1	2	RR	0-10 cm	417	0,51	811	1,35	16%	21,37
1	3	45	0-10 cm	280	0,35	811	1,35	10%	14,08
2	6	45	0-10 cm	203	0,25	811	1,35	10%	13,88
2	9	RR	0-10 cm	464	0,57	811	1,35	14%	19,19
3	12	RR	0-10 cm	291	0,36	811	1,35	16%	21,83
3	13	45	0-10 cm	91	0,11	811	1,35	9%	11,88
1	2	RR	0-10 cm	480	0,59	817	1,35	27%	35,84
2	9	RR	0-10 cm	639	0,78	817	1,35	26%	34,48
3	12	RR	0-10 cm	408	0,50	817	1,35	20%	26,86
2		RR	0-10 cm	330	0,41	814	1,35	15%	20,56
3	12	RR	0-10 cm	275	0,34	814	1,35	14%	18,41
1	2	RR	0-10 cm	342	0,42	808	1,35	18%	23,97
2	9	RR	0-10 cm	586	0,73	808	1,35	19%	25,43
3	12	RR	0-10 cm	392	0,49	808	1,35	18%	23,96
2			0-10 cm	422	0,52	810	1,35	24%	31,87
1	2	RR	0-10 cm	663	0,82	810	1,35	28%	38,01
2	9	RR	0-10 cm	770	0,95	810	1,35	30%	41,07
2	9	RR	0-10 cm	701	0,88	801	1,35	35%	47,15
3	12	RR	0-10 cm	371	0,46	801	1,35	23%	30,98
1			0-10 cm	410	0,48	860	1,35	11%	14,30
2			0-10 cm	564	0,66	860	1,35	29%	38,99

3			0-10 cm	604	0,70	860	1,35	27%	37,04
1			0-10 cm	569	0,70	814	1,35	28%	37,74
2			0-10 cm	614	0,75	814	1,35	24%	32,04
3			0-10 cm	700	0,86	814	1,35	24%	32,98

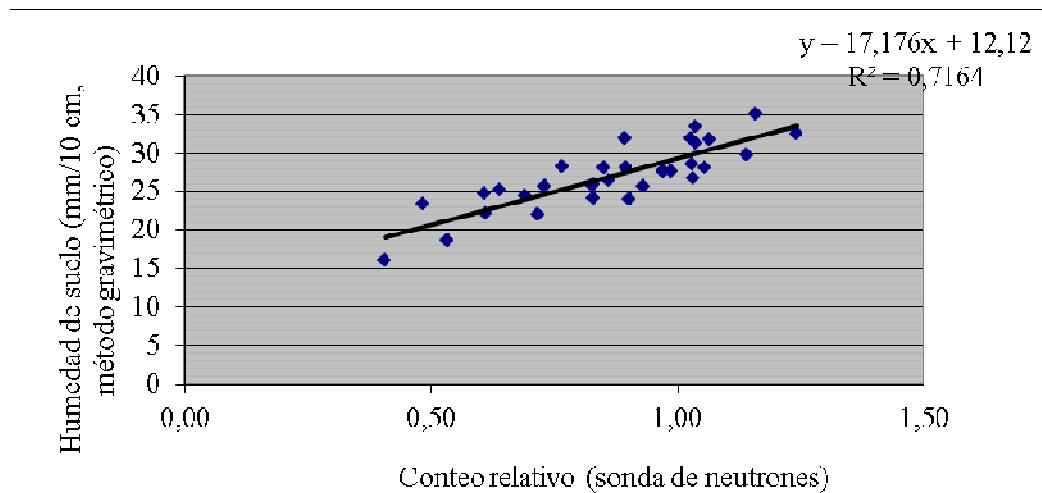
Calibración de sonda de neutrones (0 a 10 cm)



Datos para calibración de sonda de neutrones (10 a 20 cm)

Prof cm	Dato sonda	Conteo relativo	Estándar	DAP (gr/cm3)	%H en peso	mm
10-20 cm	853	1,06	808	1,35	21%	28,17
10-20 cm	558	0,69	808	1,35	18%	24,51
10-20 cm	492	0,61	808	1,35	18%	24,73
10-20 cm	519	0,64	812	1,35	19%	25,25
10-20 cm	582	0,72	812	1,35	16%	22,04
10-20 cm	393	0,48	812	1,35	17%	23,43
10-20 cm	731	0,90	811	1,35	18%	23,99
10-20 cm	432	0,53	811	1,35	14%	18,74
10-20 cm	494	0,61	811	1,35	16%	22,23
10-20 cm	788	0,97	811	1,35	21%	27,71
10-20 cm	621	0,77	811	1,35	21%	28,24
10-20 cm	329	0,41	811	1,35	12%	16,05
10-20 cm	732	0,90	817	1,35	21%	28,07
10-20 cm	870	1,06	817	1,35	24%	31,83
10-20 cm	695	0,85	817	1,35	21%	28,05
10-20 cm	700	0,83	814	1,35	19%	25,99
10-20 cm	890	0,86	814	1,35	20%	26,40
10-20 cm	594	0,73	814	1,35	19%	25,60
10-20 cm	670	0,83	808	1,35	18%	24,22
10-20 cm	831	1,03	808	1,35	21%	28,63
10-20 cm	669	0,83	808	1,35	19%	25,81
10-20 cm	754	0,93	810	1,35	19%	25,72
10-20 cm	1006	1,24	810	1,35	24%	32,46
10-20 cm	839	1,04	810	1,35	23%	31,26
10-20 cm	790	0,99	801	1,35	20%	27,64
10-20 cm	823	1,03	801	1,35	24%	31,97
10-20 cm	830	1,04	801	1,35	25%	33,40
10-20 cm	768	0,89	860	1,35	24%	31,97
10-20 cm	839	1,03	814	1,35	20%	26,68
10-20 cm	928	1,14	814	1,35	22%	29,74
10-20 cm	943	1,16	814	1,35	26%	35,10

Calibración de sonda de neutrones (10 a 20 cm)

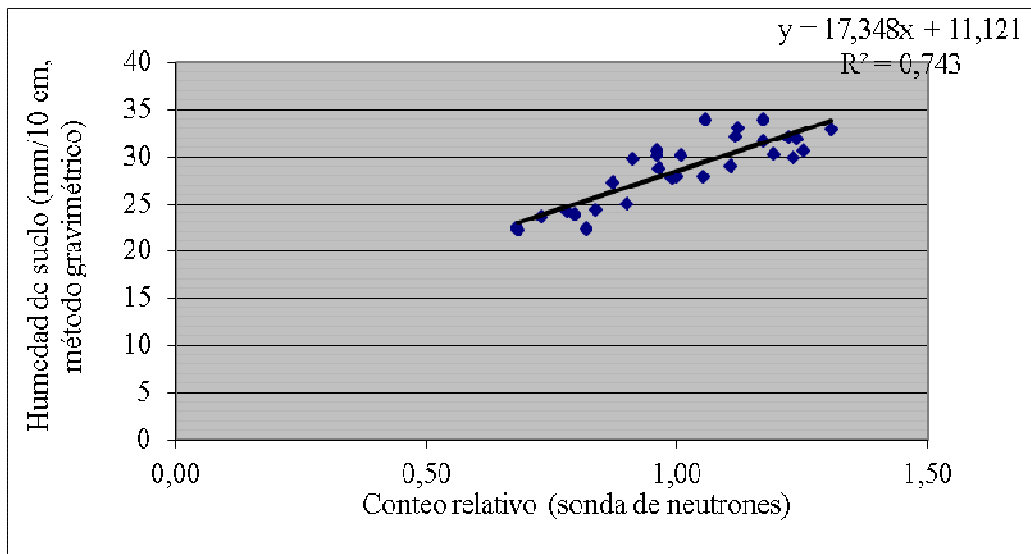


Datos para calibración de sonda de neutrones (20 a 30 cm)

Prof. cm	Dato sonda	Conteo relativo	Estándar	DAP (gr/cm ³)	%H en peso	mm
20-30 cm	903	1,12	808	1,35	24%	32,02
20-30 cm	630	0,78	808	1,35	18%	24,21
20-30 cm	704	0,87	808	1,35	20%	27,24
20-30 cm	946	1,17	808	1,35	23%	31,53
20-30 cm	643	0,80	808	1,35	18%	23,86
20-30 cm	681	0,84	812	1,35	18%	24,31
20-30 cm	731	0,90	812	1,35	18%	24,94
20-30 cm	592	0,73	812	1,35	17%	23,55
20-30 cm	853	1,05	811	1,35	21%	27,85
20-30 cm	554	0,68	811	1,35	16%	22,21
20-30 cm	665	0,82	811	1,35	17%	22,32
20-30 cm	968	1,19	811	1,35	22%	30,14
20-30 cm	779	0,96	811	1,35	22%	30,06
20-30 cm	553	0,68	811	1,35	17%	22,39
20-30 cm	823	1,01	817	1,35	22%	30,02
20-30 cm	1012	1,24	817	1,35	24%	31,78

20-30 cm	915	1,12	817	1,35	24%	33,02
20-30 cm	813	1,00	814	1,35	21%	27,79
20-30 cm	742	0,91	814	1,35	22%	29,68
20-30 cm	800	0,99	808	1,35	21%	27,72
20-30 cm	1012	1,25	808	1,35	23%	30,64
20-30 cm	894	1,11	808	1,35	21%	28,99
20-30 cm	781	0,96	810	1,35	21%	28,70
20-30 cm	950	1,17	810	1,35	25%	33,87
20-30 cm	1059	1,31	810	1,35	24%	32,83
20-30 cm	998	1,23	810	1,35	22%	29,83
20-30 cm	908	1,06	860	1,35	25%	33,84
20-30 cm	825	0,96	860	1,35	23%	30,61
20-30 cm	996	1,22	814	1,35	24%	32,01

Calibración de sonda de neutrones (20 a 30 cm)



Índice de clorofila

Trat.	50 DDE	61 DDE	50% FLORACIÓN
IC ₁₅	32,6 abc	35,1a	30,8b
IC ₃₀	31,6 bc	35,3a	34,6a
IC ₄₅	34,8 a	37,8a	34,6a
LV	32,1 abc	35,6a	34,3ab
RR	30,4 c	30,2b	33,7ab
Media	32,3	34,8	33,6
CV (%)	7	9	6
P > F	0.1	<0.01	0.05

Precipitaciones recibidas por cada tratamiento a partir de fin de riego.

Fecha	PP (mm)	PP (adicionales)			
		IC15	IC30	IC45	LV-RR
18/02/2011	0	0	0	0	0
19/02/2011	0		0	0	0
20/02/2011	0		0	0	0
21/02/2011	15.2		15.2	15.2	15.2
22/02/2011	0		0	0	0
23/02/2011	46.8		46.8	46.8	46.8
24/02/2011	15.5		15.5	15.5	15.5
25/02/2011	0		0	0	0
26/02/2011	0		0	0	0
27/02/2011	0		0	0	0
28/02/2011	0			0	0
01/03/2011	0			0	0
02/03/2011	0			0	0
03/03/2011	0			0	0
04/03/2011	0			0	0
05/03/2011	0			0	0
06/03/2011	0			0	0
07/03/2011	0			0	0
08/03/2011	0			0	0
09/03/2011	0			0	0

10/03/2011	0			0	0
	77.5	0	77.5	77.5	77.5