

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
FACULTAD DE AGRONOMIA

RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE ARROZ BAJO LOS
SISTEMAS DE RIEGO INUNDACION CONTINUA E
INUNDACION INTERMITENTE Y RESPUESTA A LA
FERTILIZACIÓN NITROGENADA

por

Manuel MARCO MARTINEZ
Muzio MARELLA MARTINEZ

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

MONTEVIDEO
URUGUAY
2006

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. MSc. Andrés Lavecchia

Ing. Agr. Oswaldo Ernst

Ing. Agr. MSc, PhD. Álvaro Roel

Fecha:

Autor:

Manuel Marco Martínez

Muzio Marella Martínez

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su agradecimiento al director de tesis Ing. Agr., M.Sc. Andrés Lavecchia de INIA Tacuarembó por su tiempo, dedicación y orientación a nuestra formación profesional, a su equipo técnico y personal de campo.

A los Ing. Agr. Alvaro Roel de INIA Treinta y Tres y Claudio García de INIA Las Brujas por sus constantes aportes a este trabajo.

Al Sr. Diego Otegui y al Ing. Agr. Bernardo Böcking de la empresa Donistar S. en C. así como a todo su equipo técnico y personal.

A los Ing. Agr. Oswaldo Ernst, Guillermo Siri y Oscar Bentancur y al Bach. Juan Ingold de Facultad de Agronomía.

Por último agradecer a nuestras familias por su constante apoyo durante toda la carrera.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1 OBJETIVOS.....	2
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1 <u>CARACTERÍSTICAS DEL RIEGO EN URUGUAY</u>	3
2.1.1 <u>Momento de inundación</u>	4
2.1.2 <u>Altura de lámina de agua</u>	4
2.1.3 <u>Momento de finalización de riego</u>	6
2.2 <u>COMPONENTES DEL GASTO DE AGUA</u>	7
2.2.1 <u>Evapotranspiración</u>	8
2.2.2 <u>Percolación</u>	9
2.2.3 <u>Perdidas laterales</u>	9
2.2.4 <u>Manejo del agua</u>	10
2.3 <u>CAMBIOS QUÍMICOS EN SUELOS INUNDADOS</u>	10
2.3.1 <u>Agotamiento del oxígeno</u>	10
2.3.2 <u>Disminución del potencial redox</u>	11
2.3.3 <u>Cambios en el PH</u>	11
2.3.4 <u>Cambios en la conductividad</u> <u>específica</u>	12
2.3.5 <u>Reducción de Fe (III) a Fe (II)</u>	12
2.3.6 <u>Disponibilidad de Nitrógeno</u>	13
2.3.7 <u>Disponibilidad de fósforo</u>	14
2.4 <u>ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE RIEGO MÁS</u> <u>UTILIZADOS</u>	15
2.4.1 <u>Riego de inundación continua</u>	15
2.4.2 <u>Sistema de riego "Pin-Point"</u>	17
2.4.3 <u>Sistema de riego por inundación</u> <u>intermitente</u>	18
2.4.3.1 <u>Efecto del estrés hídrico</u> <u>en el cultivo de arroz</u>	20
2.4.3.2 <u>Efecto del riego intermitente</u> <u>sobre el N y manejo de la</u> <u>fertilización con N</u>	23
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	24
3.1 <u>LOCALIZACIÓN</u>	24
3.2 <u>DISEÑO EXPERIMENTAL</u>	24
3.2.1 <u>Análisis estadístico</u>	25
3.2.1.1 <u>Para el ensayo de N</u>	26
3.2.1.2 <u>Para el análisis de los</u>	

	sistemas de riego.....	27
	3.2.1.3 Para el análisis de los coeficientes de senderos.....	29
	3.2.2 <u>Tratamientos de riego</u>	29
	3.2.3 <u>Tratamientos de nitrógeno</u>	30
3.3	<u>MANEJO DE CULTIVO</u>	31
3.4	<u>MEDICIONES EFECTUADAS</u>	32
	3.4.1 <u>Mediciones en el cultivo</u>	32
	3.4.2 <u>Mediciones posteriores a la cosecha</u> ..	32
	3.4.3 <u>Registro climático</u>	33
4.	<u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	34
	4.1 <u>CONDICIONES CLIMÁTICAS PARA LA ZAFRA 05/06</u> ..	34
	4.1.1 <u>Temperatura</u>	34
	4.1.2 <u>Radiación solar y Heliofanía</u>	36
	4.1.3 <u>Precipitaciones</u>	38
	4.1.4 <u>Evaporación de Tanque A</u>	39
	4.2 <u>GASTO DE AGUA</u>	39
	4.2.1 <u>Gasto de agua y componentes del riego</u>	40
	4.3 <u>RESULTADOS EN EL CULTIVO</u>	44
	4.3.1 <u>Crecimiento del cultivo</u>	44
	4.3.2 <u>Rendimiento en grano</u>	45
	4.3.2.1 <u>Componentes del rendimiento</u> ..	47
	4.3.2.2 <u>Índice de cosecha</u>	49
	4.3.3 <u>Calidad industrial de grano</u>	50
	4.3.4 <u>Distribución espacial del rendimiento</u>	51
	4.3.5 <u>Eficiencia de uso de agua</u>	52
	4.4 <u>RESPUESTA AL NITROGENO</u>	53
5.	<u>CONCLUSIONES</u>	55
6.	<u>RESUMEN</u>	57
7.	<u>SUMMARY</u>	59
8.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	61

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Gastos de agua en Chacras comerciales zafra 97-98.	7
2. Propiedades físicas y químicas del suelo.....	24
3. Esquema de tratamientos de N.....	31
4. MS aérea en distintos momentos del cultivo.....	44
5. Índice de Cosecha.....	49
6. Parámetros de calidad industrial para cuadro y taipa de cada sistema de riego.....	50
7. Respuesta a los tratamientos de N.....	53
8. Contenido de Materia Orgánica en suelo para las macroparcelas	54

Figura No

1. Consumo de agua a diferentes profundidades de agua.....	5
2. Plano de ensayo.....	25
3. Temperatura media, máxima y mínima para la zafra 05-06 en El Junco comparadas con serie histórica 90-05.....	34
4. Temperaturas en el cultivo a 50 cm de altura 15 días entorno a floración.....	35
5. Temperaturas desde las 9 AM a 1 PM durante los 12 días pre y pos floración en la chacra a 50 cm de altura.....	36
6. Heliofanía relativa para la serie histórica y para la zafra 05/06.....	37
7. Radiación solar y etapas de desarrollo.....	38

8. Precipitaciones de la zafra 2005/2006 registradas en El Junco y promedio serie histórica de Salto...	38
9. Evaporación Tanque A.....	39
10. Componentes del riego.....	40
11. Caudales promedio de riego según estado fisiológico del cultivo.....	41
12. Evolución de ETc, caudales de riego y estado fisiológico.....	42
13. Relación entre el consumo, ETc e infiltración....	43
14. Tasas de infiltración en función del estado fisiológico del cultivo.....	43
15. Evolución de la biomasa en los tratamientos de riego.....	45
16. Rendimiento de grano seco y limpio.....	46
17. Componentes de rendimiento.....	47
18. Coeficientes de Senderos.....	48
19. Mapa de rendimiento.....	51
20. Relación de conversión grano/agua.....	53

1. INTRODUCCIÓN

El arroz es un cultivo agrícola de gran dinamismo e importancia económica en el Uruguay. A su vez posee una alta tecnificación y buenos rendimientos comparables a los de los principales productores del mundo.

Históricamente el desarrollo del cultivo de arroz se ha situado en la Zona Este debido a sus características topográficas y a la disponibilidad de agua.

En los últimos 15 años la superficie de explotación arroceras se ha expandido desde la Zona Este hacia zonas del Norte y Centro del país. Donde las fuentes de agua no son tan abundantes y las características de los suelos implican un mayor gasto de agua, ya que muchos de estos están ubicados en laderas naturalmente bien drenadas. Por lo tanto la limitante para la expansión del cultivo en estas nuevas zonas es el agua.

Esta limitante implica que los productores arroceros de estas regiones deben intentar ser más eficientes en el uso de este recurso. El costo del riego tiene un alto peso sobre el costo total del cultivo, aproximadamente un 20% del mismo, y la tendencia es que este valor continuara aumentando debido a que el riego esta ligado muchas veces al uso de energía ya sea eléctrica o gasoil.

Esto hace necesario maximizar la utilización del recurso agua tratando de regar la mayor cantidad de área posible, con el fin de reducir los altos costos citados anteriormente.

A nivel internacional se han realizado diversos estudios que evalúan diferentes métodos de riego tendientes a aumentar la eficiencia del uso del agua, esto es, ahorrar agua, aumentar la productividad del agua y producir más arroz con menos agua.

Históricamente el sistema de riego usado en nuestro país es un sistema de riego continuo con inundación permanente, generalmente a partir de los 30 días pos emergencia y finalizando 15 a 20 días pre cosecha. En las variedades mayormente usadas este periodo abarca aproximadamente 90 a 100 días.

El sistema de riego por inundación intermitente que se evalúa en este trabajo implica un riego por baños, entendiéndose como tal un riego que se realiza de forma intermitente con el fin de mantener el suelo en condiciones de saturación; el comienzo del riego en este sistema se realiza aproximadamente a los 30 días pos emergencia, al igual que en el sistema de riego por inundación continua.

1.1 OBJETIVOS

Las técnicas de riego que implican ahorro de agua corren el riesgo de reducción de rendimiento debido a posibles estreses por falta de agua en el cultivo. Por consiguiente las relaciones entre los sistemas de riego y el rendimiento de arroz deben ser establecidas para nuestras condiciones de producción.

Muchos autores mencionan la existencia de una respuesta diferencial a la fertilización nitrogenada en los sistemas de riego intermitente. Debido a esto al evaluar este sistema se hace necesario evaluar su interacción con el nitrógeno.

Por lo anterior, los objetivos del trabajo son:

1. Evaluar el rendimiento en el cultivo de arroz cv El Paso 144 mediante dos sistemas de riego, inundación intermitente e inundación continua.
2. Evaluar la respuesta a la fertilización nitrogenada en los dos sistemas de riego.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 CARACTERÍSTICAS DEL RIEGO EN URUGUAY

El manejo del agua es de fundamental importancia para el desarrollo del cultivo de arroz. El agua mas allá de influir en los aspectos físicos de las plantas, interfiere en la disponibilidad de nutrientes, en la población y especies de malezas presentes y en la incidencia de algunas plagas y enfermedades.

El Uruguay se caracteriza por grandes áreas de arroz donde predomina ampliamente el sistema de cultivo con taipas a nivel, donde el regador coloca el agua en el punto más alto de la chacra y la conduce por desnivel manteniendo una lamina de agua a través de las taipas construidas con un intervalo vertical de 5 a 12 cm.

El agua para el cultivo es aportada por los sistemas de riego y las lluvias, estas si bien son importantes son muy irregulares en cantidad y distribución por lo que el riego es parte fundamental del cultivo.

La cantidad de agua exigida por el cultivo es la sumatoria del agua necesaria para saturar el suelo, formar una lámina, compensar la evapotranspiración y reponer las pérdidas por infiltración, pérdidas laterales y de los canales de riego.

Hay 3 periodos en que el cultivo es mas exigente: establecimiento del cultivo, macollaje, y en el periodo entre inicio de diferenciación de la panícula y llenado de granos. Esto significa que la falta de agua en estos 3 periodos causa daños significativos al cultivo, con reducción del rendimiento.

Según diversos autores nacionales el consumo promedio del cultivo puede estimarse en 15000 m³/ha. Esta cifra puede variar mucho según las condiciones climáticas y la cantidad de lluvia caída en el periodo, del tipo del suelo, pero fundamentalmente del manejo del agua que realice el productor.

El sistema de riego tradicionalmente usado en el país es un sistema de inundación continua, llamado así por mantener una lamina de agua permanente en superficie, de profundidad variable (5 a 10 cm).

2.1.1 Momento de inundación

Generalmente la siembra en el Uruguay se realiza sobre suelo seco comenzando el riego 30 a 45 días luego de la emergencia del cultivo. Dependiendo del contenido de humedad del suelo al momento de la siembra puede ser necesaria la aplicación de baños para promover la emergencia, luego de que ocurre esta puede ser necesario baños previos a la inundación permanente para promover el crecimiento.

Roel (1999) determino sobre suelos de la Unidad La Charqueada (solod) para una serie de 3 años que el total de agua suministrada siempre fue superior en el manejo de inundación tradicional (45 días pos emergencia) que en el manejo de inundación temprana (15 días pos emergencia).

El promedio de agua suministrada para el manejo de inundación temprana fue de 4691 m³/ha y el de la inundación tardía fue de 6220 m³/ha. Esto implica que con el manejo de la inundación temprana se requirió un 25% menos de agua por hectárea que con el manejo de la inundación tradicional.

Estos resultados están explicados en el hecho de que la inundación tradicional requiere de baños previos a la inundación permanente los que componen entre un 20 a un 30% del gasto total de agua.

No existieron diferencias significativas de rendimiento entre los distintos momentos de inundación. Sin embargo la eficiencia de uso de agua (Kg de grano/m³ de agua) fue mayor en el caso de la inundación temprana comparado con la inundación tardía, 0.74 y 0.66 respectivamente.

2.1.2 Altura de lámina de agua

La altura de lámina de agua es una herramienta para corregir problemas de micro-relieve en las chacras, permitiendo regar toda la superficie del suelo. Con la mejora de las herramientas de nivelación de las chacras se ha podido disminuir la altura de agua, regando eficientemente la superficie del cuadro.

Según la información de Arkansas, citado por García Ricci (1982) una altura de 5 a 10 cm es suficiente

siempre y cuando no existan problemas de microrrelieves importantes en el terreno.

Es sabido que a medida que aumentamos la profundidad de agua en la chacra el consumo total aumenta debido a que se elevan las pérdidas, comparado con un sistema de lámina mínima 5 a 6 cm, como muestra la figura 1.

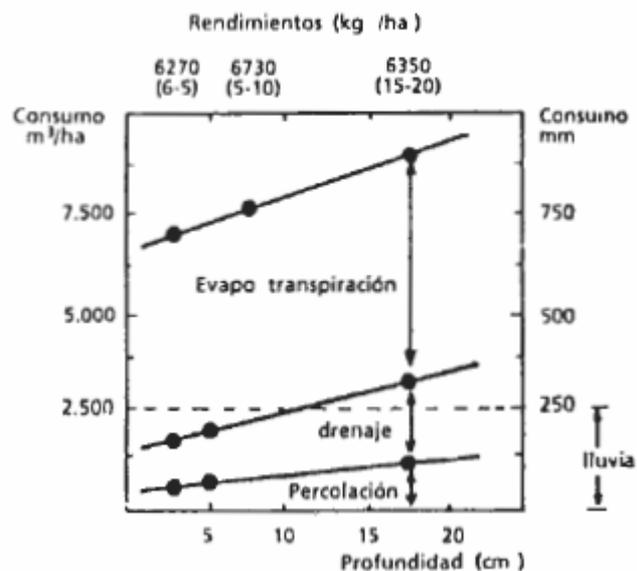


Figura N° 1. Consumo de agua a diferentes profundidades de agua. Fuente: Arkansas (EUA), citado por García Ricci (1982)

Roel (2004) registro que con dos laminas de agua contrastantes de 2,5 y 11,5 cm no existían diferencias en las temperaturas mínimas en el canopio a nivel de la panoja, y si existían diferentes temperaturas de agua.

La temperatura del agua influye sobre el desarrollo de las yemas cuando estas se encuentran por debajo del nivel de la lámina de agua, pero no influye en el desarrollo de los meristemos cuando estos están por encima del nivel del agua.

Ensayos realizados por Blanco y Roel en la zafra 92-93 y 93-94 en INIA Treinta y Tres determinaron que no hubo diferencias significativas de rendimiento entre 3 tratamientos de profundidad de lámina, encharcado permanente (lamina mínima que permita saturar el suelo), 10 cm y 20 cm. La variedad utilizada fue El Paso 144, pero existió una tendencia a mayores rendimientos en

mayores profundidades de agua. La variable que se vio afectada en este ensayo fue N° de granos por panoja que fue significativamente menor en el tratamiento de encharcado. Sin embargo se encontraron diferencias entre los tratamientos con lámina y el encharcado ya que el encharcado presento mayor nivel de enmalezamiento y una menor altura de planta.

Estos mismos autores registraron en la zafra 94-95 que la variedad INIA Tacuarí bajo los tratamientos anteriormente mencionados tuvo un rendimiento significativamente menor en la lamina baja (encharcada), ellos atribuyen este menor rendimiento al efecto que pudieron tener las bajas temperatura en floración. Por otra parte indican que el cultivo con riego encharcado acorto su ciclo alcanzando el 50% de floración 5 días antes que los tratamientos con lamina de 10 y 20 cm.

La presencia de lámina de agua sobre el suelo es importante visto que influye sobre la población de malezas en términos de número y especies presentes. Laminas de agua bajas o apenas en saturación de suelo favorecen el crecimiento de gramíneas y ciperáceas, las cuales tienen un desarrollo perjudicado por laminas de agua mas profundas desde el inicio del cultivo. En áreas mal drenadas, laminas elevadas facilitan el desarrollo de especies de malezas acuáticas (Congreso Brasileiro, 2005).

2.1.3 Momento de finalización de riego

El momento de finalización del riego debe ser realizado como regla general cuando la mayoría de los granos hayan alcanzado el estado de grano pastoso, pero en condiciones de suelo de buen drenaje el riego debe ser finalizado después del llenado completo de los granos. En cambio en los suelos de mal drenaje se recomienda que se finalice 15 días luego de floración completa (Congreso Brasileiro, 2005).

Este momento es crítico para tener el menor gasto de agua posible y lograr satisfacer los requerimientos del cultivo.

Blanco y Méndez (1986) evaluaron distintos momentos de drenaje de chacra y cosecha. Drenajes a 15, 25, 35 y 45 días pos floración y cosecha a los 45, 55, 65 y 75 días pos floración. No encontrándose diferencias en rendimiento, y se concluyo que este no se ve afectado por

el momento de drenaje de la chacra. De acuerdo a otros parámetros como el peso de grano, porcentaje de verde y porcentaje entero se concluía que el momento mas conveniente para drenar la chacra era 30 días pos floración y para cosechar entre 50 y 55 días luego de esta.

Roel (1998b) evaluó distintos momentos de retiro de agua y cosecha para tres variedades, INIA Tacuarí, INIA Caraguatá y El Paso 144. No encontrando diferencias significativas, en cuanto a rendimiento de grano, entre 6 momentos de retiro de agua 15, 25, 35, 45, 55 días después de 50% de floración y cosecha en agua. Sin embargo encontró que para El Paso 144 los mayores rendimientos se obtenían en cosechas desde 35 a 55 días post-floración; para INIA Caraguatá el mayor rendimiento en cosechas 45 días post-floración; no encontrándose diferencias para la variedad INIA Tacuarí.

2.2 COMPONENTES DEL GASTO DE AGUA

A nivel de chacra el volumen de agua gastada depende de: 1) evapotranspiración, 2) percolación, 3) perdidas laterales y 4) manejo del agua.

El factor principal que determina el gasto de agua es el manejo del riego, seguido por el tipo de suelo y las variables climáticas, a modo de ejemplo se presentan datos obtenidos por Roel et al.(1998a) en mediciones realizadas en la zafra 97-98 a nivel de chacras comerciales.

Cuadro N° 1 Gastos de agua en Chacras comerciales zafra 97-98

Zona del país	Suelo Dominante	Gasto de riego (m3/ha)	Precipitaciones (mm)	total (m3/ha)
Artigas	Vertisol	4971	1088	15851
Artigas	Brunosol E	6970	1368	20650
Lavalleja	Planosol	4932	513	10102
Treinta y Tres	Planosol	19997	604	26037
Tacuarembó	Brunosol SE	6213	1275	18963

Fuente: adaptado de Roel (1998b).

Como se observa en el cuadro los consumos de agua son muy variados, a su vez existe una gran influencia del tipo de pago del riego sobre el gasto de agua. Mientras un productor es tomador de agua (teniendo un costo del agua fijo por ha), otro productor debe bombear el agua, entonces el costo de riego es directamente proporcional al gasto de agua.

2.2.1 Evapotranspiración

La evapotranspiración de un cultivo es el proceso por el cual el agua es transferida desde el suelo hacia la atmósfera, e incluye los términos evaporación desde el suelo, la lamina de agua y la planta; y transpiración desde la planta. Está influenciada por diversos factores climáticos como radiación, humedad relativa, temperatura y viento; factores de suelo como la disponibilidad de agua y factores de cultivo como tipo y estado fenológico del cultivo.

Podemos caracterizar la demanda de la atmósfera con el término ET_0 (Evapotranspiración del cultivo de referencia). Existen métodos para medir directa e indirectamente esta propiedad. En nuestro país, el método de Penman, y el tanque clase A son los más comunes. El valor de ET de tanque A debe ser corregido por coeficientes de tanque que varía mensualmente.

La evapotranspiración del cultivo se calcula como:

$$Etc = Eto * Kc$$

Definiendo el Kc como el coeficiente del cultivo. Este varía con el desarrollo del cultivo, pero también depende de si estamos ante una alta o baja disponibilidad de agua en el suelo. Existen varias fuentes para tomar los datos de Kc de los cultivos. El Kc que propone FAO, citado por Duran et al. (2001) para el cultivo de arroz es 1.1 a 1.15 en fase inicial de riego, 1.1 a 1.3 en mediados de cultivo y 0.95 a 1.05 en las etapas finales del cultivo.

Blanco en la zafra 83-84 reporto un gasto por concepto de evapotranspiración de 600mm en 100 días de riego en cultivo de arroz sobre suelos Solod pertenecientes a Unidad La Charqueada.

De acuerdo con lo anterior García (2005) reporto que el cultivo de arroz de ciclo largo como El Paso 144 podía llegar a tener un gasto de 700 mm de evapotranspiración en todo su ciclo de cultivo.

2.2.2 Percolación

Se denomina percolación o infiltración, al agua que se pierde por gravedad a las capas mas profundas del suelo. Depende fundamentalmente de las características texturales del suelo (principalmente del contenido de arcilla) y de la presencia de un horizonte B textural que impida el pasaje del agua.

En el cultivo de arroz las tasas de infiltración en nuestro país han sido registradas por algunos autores como Blanco (1988) sobre suelos Planosoles limo arcillosos de la Unidad la Charqueada donde se registraron niveles de infiltración de 1 mm/día. Hay que tener en cuenta la presencia de un horizonte B textural que reduce estas tasas.

García (2005) reporto valores de infiltración para Brunosoles Eutricos L.A. con 40% de arcilla de Unidad Itapebi-Tres Árboles de 4 mm por día. Este valor se puede considerar como elevado para suelos arroceros de Uruguay.

Belder et al. (2004) reportaron que los valores medidos de percolación en el riego continuo fue de 4.5 mm por día en Tuanlin China y 1 mm por día en Muñoz IIRI Filipinas. Ambos suelos arroceros tenían proporciones de limo y arcilla elevadas, cercanas a 45%.

2.2.3 Perdidas laterales

Las perdidas laterales son provocadas por las filtraciones a través de rondas y taipas, o a las roturas de las mismas. Estas perdidas están muy asociadas a la topografía de la chacra, los campos con mayor pendiente son los que presentan mayores niveles de perdidas.

A su vez los años lluviosos este tipo de pérdidas son elevadas como registra Blanco (1988) donde las pérdidas laterales alcanzaron 460 mm. Estas perdidas son de menor importancia en años secos.

2.2.4 Manejo del agua

Este punto quizá es el más importante para determinar la eficiencia del riego y es la única variable que maneja el productor, cuando determina que sistema de riego va a utilizar. Es decir todas las variables que implica esto siembra en agua, inicio del riego 15 vs 45 días post emergencia, inundación permanente, inundación intermitente, momento de finalización del riego, etc. Estos temas se desarrollan más en profundidad en el punto 2.4.

2.3 CAMBIOS QUÍMICOS EN SUELOS INUNDADOS

La inundación del suelo provoca cambios en sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas que afectan el desarrollo de las plantas. Estos cambios influyen de manera importante en la absorción de nutrientes por parte de las plantas, así como en la disponibilidad o pérdida de estos.

A continuación se describen los principales cambios que ocurren en la inundación de los suelos arroceros.

2.3.1 Agotamiento del oxígeno

Cuando se inunda un suelo, el agua reemplaza al aire en los espacios de los poros. Excepto por una delgada capa sobre la superficie del suelo, y en ocasiones por una capa debajo de la capa arable, la mayor parte de las capas del suelo se encuentran prácticamente sin oxígeno pocas horas después de la inundación (De Datta, 1981).

Los microorganismos de suelo utilizan para su respiración elementos oxidados del suelo y algunos metabolitos orgánicos en lugar de oxígeno molecular como aceptor de electrones, lo cual provoca la reducción del suelo. La condición anaeróbica influye sobre la disponibilidad de varios nutrientes de las plantas y sobre la producción de sustancias tóxicas en el suelo (De Datta, 1981).

El arroz es capaz de explotar los beneficios químicos de la inundación del suelo porque sus raíces reciben oxígeno a través del aerénquima de los tallos nuevos (Van Raalte et al., citados por De Datta, 1981). Según este mismo autor, en ausencia de oxígeno en el sistema del

suelo inundado, los organismos anaeróbicos y facultativos verdaderos se vuelven activos. La descomposición de la materia orgánica es más lenta y menos completa en suelos anaeróbicos que en suelos aeróbicos.

2.3.2 Disminución del potencial redox

Después de que un suelo mineral se inunda, se reduce y su potencial redox (Eh) baja a un valor estable regular de +0.2 a -0.3 V, pero el potencial redox en la superficie del agua y en los primeros milímetros del suelo permanece en +0.3 a +0.5 V. estos valores varían según el tipo de suelo en que se este trabajando.

El total de la zona de la raíz en un suelo inundado se reduce, pero el subsuelo y los puntos en la matriz reducida, así como las rayas que corresponden a los canales de la raíz, se pueden oxidar (De Datta, 1981).

Los beneficios de la reducción del potencial redox comprenden incrementos en el suministro de nitrógeno, fósforo, potasio, hierro, manganeso, molibdeno, y silicio. Las desventajas son pérdidas de nitrógeno por desnitrificación, disminución en la disponibilidad de azufre, cobre y cinc y producción de sustancias que interfieren en la captación de nutrientes o que envenenan a las plantas directamente (De Datta, 1981).

Este caso se puede dar cuando los potenciales redox son extremadamente bajos en suelos con bajos contenidos de Fe (en los que se puede formar H_2S que es toxico) o en suelos con exceso de Fe.

2.3.3 Cambios en el PH

El pH en los suelos inundados tiende a estabilizarse entre 6.5 y 7.5. Para ello aumenta en los suelos ácidos y disminuye en los alcalinos. El aumento en los suelos ácidos se debe a la reducción de los óxidos de Fe y Mn que consumen muchos iones de hidrogeno H^+ . Mientras que en los suelos alcalinos el pH disminuye debido al aumento de la presión parcial de CO_2 y la acumulación de ácidos orgánicos e inorgánicos (H_2CO_3).

El cambio de ph en suelos inundados es regulado básicamente por tres sistemas (Ponnamperuma et al., citados por De Datta, 1981).

1. $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-CO}_2\text{---H}_2\text{O}$ para suelos alcalinos
2. $\text{CaCO}_2\text{---CO}_2\text{---H}_2\text{O}$ para suelos calcáreos
3. $\text{Fe}(\text{OH})_3\text{---Fe}^{+2}$ para suelos ferruginosos

Los primeros dos sistemas controlan el descenso del ph en suelos alcalinos. El tercero, un sistema de oxidación y reducción, regula el aumento del ph y su estabilidad en 6.5-7.0, particularmente en suelos ácidos.

La estabilización del ph del suelo en un punto neutro después de la inundación tiene algunos efectos sobre el cultivo de arroz.

Los efectos adversos de un ph bajo o alto per.-se se reducen al mínimo. El exceso de Aluminio y Manganeseo en suelos ácidos deja de ser perjudicial, la toxicidad del hierro en suelos ácidos se disminuye, aumenta la disponibilidad de fósforo, molibdeno y silicio. Se favorece también la mineralización del nitrógeno orgánico, los ácidos orgánicos se descomponen (De Datta, 1981).

2.3.4 Cambios en la conductividad específica

La conductancia específica de la solución de la mayor parte de los suelos aumenta después de la inundación. La conductancia específica a los 30 días de inmersión se correlación en gran medida con el contenido de materia orgánica original del suelo (De Datta, 1981).

El mismo autor sostiene que la materia orgánica después de la descomposición produce bicarbonato e iones orgánicos y sirve como fuente de energía para la reducción de compuestos inorgánicos insolubles a formas iónicas solubles.

2.3.5 Reducción de Fe (III) a Fe (II)

Después de la inundación de un suelo, los hidratos de oxido Fe (III) se reducen a compuestos de Fe (II). Como resultado el color del suelo cambia de café a gris y una gran cantidad de Fe (II) entra en la fase de solución. Las concentraciones de hierro soluble en agua pueden

variar de 0.1 ppm poco después de la inundación, hasta 600 ppm (De Datta, 1981).

Los suelos fuertemente ácidos con cantidades adecuadas de materia orgánica y óxidos de hierro activos pueden formar concentraciones tóxicas de hierro ferroso (Ponnamperuma, citado por De Datta, 1981).

Lavecchia et al. (2005) realizó un ensayo en Paso Farias, departamento de Artigas con la idea de observar el comportamiento del cultivar INIA Olimar frente a los manejos del riego (momentos de inundación Temprano, Intermitente y Tardío). La inundación temprana consistió en la entrada de agua a los 9 días post emergencia, el intermitente consistió en inundación por 8 días a partir de 9 DDE luego drenaje por 8 días e inundación permanente a los 26 DDE, la inundación tardía consistió en instalar el riego a los 26 DDE. Con la inundación Temprana, se pretende realizar un uso eficiente del nitrógeno, pero que a su vez dicho manejo estaría aumentando la concentración de hierro en el estado reducido (ferroso) en etapas tempranas del cultivo.

Es conocido que altas concentraciones de hierro en la solución del suelo, cuando se dan conjuntamente con altas concentraciones de M.O. pueden causar problemas en la absorción de nutrientes. Por lo tanto se estudiaron las alternativas de riego Intermitente, de forma de mantener el suelo oxigenado, disminuyendo así la concentración de ferroso en la solución del suelo.

En estos ensayos se comprobó que el riego de inundación temprana aumento la absorción de Fe en raíces y parte aérea en comparación con el llamado intermitente. Pero esto no causo efectos negativos sobre el rendimiento.

2.3.6 Disponibilidad de Nitrógeno

La disponibilidad de nitrógeno en suelos inundados es más alta que en los que no lo están. A pesar de que la materia orgánica se mineraliza a una velocidad más lenta en suelos anaeróbicos, la cantidad neta mineralizada es mucho más grande porque se inmoviliza menos nitrógeno. La disponibilidad de nitrógeno en suelos inundados aumenta con el incremento del contenido de materia orgánica, ph del suelo, temperatura y duración de la desecación previa del suelo (Ponnamperuma, citado por De Datta, 1981).

La inundación estabiliza la forma NH_4 y desestabiliza la forma NO_3 , mediante los procesos de reducción mencionados anteriormente. La planta de arroz tiene capacidad de absorber en las dos formas el N.

El NH_4 presente en la capa oxidada (ya provenga del suelo o del fertilizante) puede oxidarse a NO_3 , el cual puede ser absorbido por las plantas, perderse por lixiviación o ser inmovilizado por la materia orgánica en la capa reducida. El NO_3 que pasa a la capa reducida también puede perderse por desnitrificación, este proceso es causado por los microorganismos anaerobios que utilizan el O_2 del NO_3 transformando a este en N_2 gaseoso.

La alternancia de condiciones aeróbicas y anaeróbicas debido a la alternancia de inundación secado del suelo provoca tanto la nitrificación como la desnitrificación, causando pérdidas de N proveniente tanto de la materia orgánica como de los fertilizantes (De Datta, 1981).

Estas pérdidas son mayores cuando el cultivo no tiene el sistema radicular bien desarrollado, cuando la planta tiene un alto índice de extracción, esta compete eficientemente con los procesos de nitrificación y desnitrificación.

El N en la forma de amonio es estable bajo la inundación y puede ser fijado por los coloides del suelo y queda disponible para el intercambio con la solución del suelo. Pueden ocurrir pérdidas de NH_4 por volatilización o lavado. La volatilización es el pasaje de NH_4 a NH_3 gaseoso. Este fenómeno es importante cuando se utiliza urea como fertilizante N y la aplicación se hace en agua. Las pérdidas en estas situaciones pueden llegar al 60% según Craswell y De Datta, citados por Atanasiu y Samy (1985).

2.3.7 Disponibilidad de fósforo

La disponibilidad de fósforo en un suelo inundado aumenta después de la inundación.

La disponibilidad de fósforo aumenta debido a la reducción del fosfato férrico insoluble a fosfato ferroso más soluble (reacción más importante) a pesar de que también tiene lugar otros cambios como la hidrólisis de

fosfato de aluminio y hierro y la disolución del fosfato de calcio, resultado de la acumulación de bióxido de carbono, deserción de fósforo de la arcilla y de los óxidos de aluminio y de hierro (De Datta, 1981).

Ferrando et al. (2002) reporto en un ensayo realizado en nuestro país sobre tres tipos de suelo, un suelo de la Unidad La Charqueada, un brunosol de la unidad Young y un vertisol de la unidad Itapebi-Tres Árboles que, el fósforo disponible aumentaba luego de un periodo de anegamiento que consistía en mantener 20 días el suelo a 105% de capacidad de campo, con excepción del suelo sobre Itapebi-Tres Árboles, donde no se detecto un aumento en la disponibilidad del P.

El aumento del fósforo soluble en los primeros dos suelos se explica por un aumento de la solubilidad de los compuestos del hierro ligados al fósforo como consecuencia de la reducción del Fe^{+3} al Fe^{+2} .

Con el retorno de las condiciones de oxidación se produce la reprecipitación del hierro bajo la forma de partículas de mayor superficie (cristales mas pequeños y desordenados) y mayor reactividad química como el fosfato. Esto determina un mayor grado de retención del fósforo comparado con la situación previa a la inundación.

2.4 ANALISIS DE LOS SISTEMAS DE RIEGO MÁS UTILIZADOS

2.4.1 Riego de inundación continua

Es el sistema de riego mas utilizado en Uruguay. El sistema consiste en siembra en seco y posterior inundación a 30 o 45 días post-emergencia estableciendo una lámina de 5 a 10 cm de altura hasta 15 días antes de la cosecha. El sistema tiene un consumo elevado de agua de 10000 a 13000 m³/ha.

Roel (1999) para una serie de tres años registro eficiencias promedio de uso de agua de 0.66 Kg de grano/m³ de agua en sistemas de riego con inundación tradicional a los 45 días post-emergencia. Con gastos de agua de 10900 m³/ha.

Dentro de este sistema de riego existen variantes como el riego corrido y el riego estancado. El primero implica que el agua este en constante movimiento a través

de la chacra mientras que el segundo es el riego tradicionalmente utilizado. Evidentemente el riego corrido tiene un gasto de agua mayor. En climas templados como en Uruguay puede haber un efecto negativo de la menor temperatura del agua en el riego corrido. No se encontraron diferencias significativas en el rendimiento entre ambos sistemas (De Datta et al., 1975).

Según De Datta et al. (1975) el riego corrido tiene potencial para producir lo mismo que el riego estancado. Las características del crecimiento son esencialmente las mismas que para profundidades similares en condiciones de inundación o de riego estancado, excepto en las zonas en que se dejan sentir los efectos de las altas temperaturas. En esas zonas las prácticas de manejo del agua sin movimiento darán como resultado un crecimiento anormal debido a la excesiva temperatura del agua.

Según este mismo autor el gasto de agua para este sistema de riego en situaciones comerciales puede amentar hasta un 40% y en condiciones experimentales se utilizan hasta 4500 mm de agua, desde el trasplante a la maduración utilizando el tratamiento de flujo continuo.

La siembra en agua es otra variante del sistema que se utiliza en casos de campos de difícil drenaje. La siembra se puede realizar con semilla pregerminada o a través del trasplante de los plantines. Roel (1998b) reporto para ensayos realizados en Treinta y Tres que este sistema tuvo un menor rendimiento en grano debido a un menor desarrollo en la etapa de macollaje lo que produjo menos panojas por m².

El mismo autor reporto que la siembra en agua presento los menores valores de eficiencia de uso de agua frente a los tratamientos de inundación a 15 y 45 días debido a un menor rendimiento y a un mayor gasto de agua. Los valores de eficiencia de uso de agua para un promedio de dos años fueron 0,65; 0,55 y 0,42 kg grano/m³ de agua para inundación a 15 días, inundación a 45 días pos emergencia y siembra en agua respectivamente. Vale aclarar que en este trabajo se utilizaron variedades no adaptadas a estas prácticas de manejo.

En Uruguay se ha estudiado diferentes momentos de inundación como variante al manejo de riego continuo,

este tema ya fue tratado en la sección 2.1.1 momento de inundación.

2.4.2 Sistema de riego "Pin-Point"

Básicamente este sistema se genero en EUA con el objetivo de controlar el arroz rojo (*Oryza sativa*).

El sistema consiste en una siembra en agua de semilla pregerminada y drenado de la chacra 24 hs luego de esta durante aproximadamente 3 días para re inundarla luego hasta la cosecha.

A continuación se presentan los resultados obtenidos por Roel et al. (1996) donde se comparo dicho sistema con el sistema baño inundación. Este sistema baño inundación consiste en siembra en agua y drenado a las 24 hs con la instalación de la inundación permanente a los 40 días posteriores. Durante estos 40 días se realizaron baños siempre que sea necesario.

El promedio total de agua aplicado, excluyendo las lluvias, para los dos años del estudio fue de 628 mm en el sistema pin-point y 741 mm en el sistema baño inundación. Si consideramos las lluvias en promedio se aplicaron 1087 mm en el sistema pin-point y 1200 mm en el baño inundación.

El cultivo con el sistema de baño inundación presento una mayor evapotranspiración, transpiración y evaporación que el sistema pin-point, a su vez este ultimo presento los mayores valores de IAF y una mayor altura. Estos autores atribuyeron estas diferencias a que la estructura del cultivo (canopio) fue diferente en ambos tratamientos. El cultivo bajo el sistema baño inundación se presento mas abierto, permitiendo mayor penetración de luz y por tanto mayor cantidad de radiación incidente sobre la lamina de agua. También sugirieron que las plantas sobre el sistema pin-point al tener mas desarrollo vegetativo aumentaron el sombreado de las hojas inferiores reduciendo así la transpiración.

El periodo de gasto de agua en el sistema pin-point se redujo debido al acortamiento del ciclo a floración en 6 días promedio.

A su vez el sistema de riego afecto el crecimiento de las malezas, en el sistema pin-point no fue necesario la aplicación de herbicida en ninguno de los dos años de estudio, mientras que en el sistema de baño inundación fue necesario el control de *Echinochloa* y ciperáceas.

No hubo diferencias significativas en rendimiento en los dos años de estudio.

2.4.3 Sistema de riego por inundación intermitente

El riego por inundación intermitente que se desarrolla incipientemente en nuestro país consiste en la siembra en seco del cultivo y el comienzo del riego aproximadamente a los 30 días pos emergencia. El mismo tiene como característica que se realiza por medio de baños, los cuales consisten en la aplicación de una lamina de 5 a 10 cm de agua, en este momento se detiene la entrada de agua a la chacra y comienza la fase de recesión hasta que el suelo llega al punto de saturación, momento este en que se aplica nuevamente la lamina de agua. El tiempo transcurrido entre la aplicación de una lámina y la siguiente varía según las condiciones climáticas, los requerimientos del cultivo, tasa de infiltración y las pérdidas laterales.

Este sistema se fundamenta en el trabajo de varios investigadores que afirman que el cultivo de arroz necesita condiciones de saturación en el suelo como elemento principal, restando importancia a la altura de lámina para que el cultivo exprese su máximo potencial (Bouman y Tuong, 2000).

El mismo autor, definió que el término de "técnicas de riego de ahorro de agua" fue introducido para denominar estrategias de riego que apunten a disminuir las tasas de infiltración y de pérdidas laterales. Las herramientas para esto son la reducción de la profundidad de lámina de inundación, mantenimiento del suelo en punto de saturación o alternancia de inundación-secado, es decir, permitir secar la chacra hasta cierto punto antes de realizar otro baño.

Sandhu et al., Tripathi et al., Mishra et al., Tabbal et al., citados por Bouman y Tuong (2000) reportaron que un cultivo en condición de saturación no

presenta un rendimiento significativamente menor que el rendimiento de un cultivo con lamina de agua continua.

El mismo autor reporto para una serie de 33 ensayos realizados en China y Filipinas los tratamientos de ahorro de agua que mantienen el suelo en saturación, o los que permiten que la lamina infiltre antes de reaplicar el agua, fueron efectivos en reducir el gasto de agua manteniendo altos niveles de rendimiento, cuando la media de ahorro de agua fue de 23% (+/-14), mientras que la reducción de rendimiento es de solo 6% (+/-6).

En ensayos realizados por Toescher et al. (1997) en los campos de la Universidad de Santa Maria RS, sobre suelos planosoles donde se evaluó un sistema de riego intermitente que consistía en inundar la chacra y dejar que el potencial de agua en el suelo descendiera hasta -10 KPa para iniciar el nuevo baño. Para esto se utilizaron 2 variedades, BR-IRGA 409 y IAC 47. Estos investigadores no encontraron diferencias significativas entre el sistema intermitente y un sistema de riego continuo que consistía en mantener una lámina constante de 10 cm de agua. Aunque reportaron una tendencia a disminuir el rendimiento bajo riego intermitente. Por otro lado reportaron una disminución de 22% de gasto de agua del riego intermitente con respecto al continuo. Atribuyeron estos resultados a un mayor aprovechamiento de las precipitaciones 92.5% y 63.5% para riego intermitente y continuo respectivamente.

Mishra et al., citados por Bouman y Tuong (2000) reporto un gasto mayor de agua en el sistema intermitente comparado con una inundación continua debido a las características particulares del suelo que hicieron aumentar la tasa de infiltración, ya que cuando el suelo se secaba, el agrietamiento del mismo provocaba un aumento de esta. Vale aclarar que en este ensayo se estudio un sistema intermitente que permitía secar el suelo hasta que se alcanzara un potencial de agua de -500 mbar a 15 cm, equivalente a -50 KPa (1bar = 100 KPa). Para tener una referencia, en el rango de potencial hídrico comprendido entre -10 y 0 KPa el suelo se encuentra entre capacidad de campo y saturación respectivamente. Con valores de -100 KPa a -1000 KPa el suelo se encuentra entre 50% de capacidad de campo y punto de marchites permanente.

Entonces podemos decir que existe un riesgo de gasto de agua imprevisto en suelos pesados (con alto contenido de arcilla) debido a que la tasa de percolación pueden aumentar al secarse el suelo. Este tipo de suelo con alto contenido de arcilla es frecuente en nuestro país, fundamentalmente en la zona Norte de Basalto donde se desarrolla parte del cultivo de arroz.

Según Tripathi et al., citados por Bouman y Tuong (2000) con las técnicas de ahorro de agua inicialmente se reducen las perdidas laterales y por infiltración, con un escaso efecto sobre el rendimiento, esto es debido a que la menor lamina de agua produce una menor presión hidrostática. Con el incremento del ahorro de agua (potenciales de agua en la zona radicular menores a 0), la transpiración se reduce y el rendimiento también.

2.4.3.1 Efecto del estrés hídrico en el cultivo de arroz

En este punto se tratan algunos efectos que tiene el estrés hídrico sobre la planta de arroz. Estos han sido citados por muchos autores en la bibliografía internacional y se considera importantes tenerlos en cuenta ya que en la practica, cuando se implementan los sistemas de riego intermitente se esta al limite de que la planta sufra un estrés hídrico y se han encontrado diferentes respuestas según el material genético, la intensidad y duración del estrés, y el momento del ciclo del cultivo en el que se da este.

Los efectos del estrés hídrico pueden darse cuando los niveles de agua en el suelo caen por debajo de saturación. El arroz posee una serie de mecanismos de reacción a estas condiciones. La siguiente lista es compilada de, Singh y Singh, De Datta, Yoshida, Sharma, Wopereis, Garrity y O'Toole, Wopereis et al., citados por Bouman y Tuong (2000):

1. Inhibición de la producción de hoja y disminución del IAF, llevando a detener el crecimiento de hoja y la intercepción de luz. El estrés hídrico afecta tanto la división celular como el crecimiento, sin embargo la división parece ser menos sensible al estrés que el crecimiento.
2. Cierre estomático, llevando a reducir la tasa transpiratoria y la fotosíntesis. Los estomas de las

hojas no se cierran inmediatamente con el estrés hídrico, y el cultivo se mantiene fotosintetizando por un cierto periodo luego de que los estomas se cerraron. Los asimilados no son usados en el crecimiento foliar o su expansión, pero son acumulados en la hojas, tallos y raíces. Cuando el estrés pasa, estos asimilados pueden volverse disponibles y destinarse al crecimiento de hojas.

3. Enrollamiento de las hojas, llevando a una reducción en el área efectiva para la intercepción de luz. Las hojas vuelven a su estado normal luego de que el estrés ha pasado.
4. Senescencia foliar, llevando a reducir la fotosíntesis del canopy.
5. Cambia la partición de asimilados. Las raíces crecen mas a expensas de los macollos durante el desarrollo vegetativo. Las raíces mas profundas son efectivas en explorar las capas mas profundas en busca de agua.
6. Reducción de la altura de planta.
7. Retardo en la floración. La falta de agua en la etapa vegetativa puede atrasar la floración. El atraso en la floración es mayor cuando la falta de agua ocurre en etapas tempranas y es menor cuando mas tarde ocurre.
8. Reducción de macollaje o hay muerte de macollos. Sequía antes o durante el macollaje reduce el número de macollos y de panículas. Si el estrés se levanta a tiempo y el tamaño de fuente es suficientemente grande, la reducción de macollos/panículas puede ser compensada por un aumento en el número de granos/panicula y/o por un aumento en el peso de grano.
9. Reducción del número de espiguillas con estrés hídrico entre primordio y floración, resultando en un menor n° de granos por panoja.
10. Incremento de la esterilidad de espiguillas cuando el estrés se da en floración y llenado de grano temprano, resultando en menor porcentaje de espiguillas llenas y, por lo tanto en menor numero

de granos por panoja. Especialmente en antesis, este es un lapso de tiempo muy corto donde la fertilidad de las espiguillas es especialmente sensible al estrés hídrico.

11. Decrece el peso de los 1000 granos con estrés luego de la floración.

Algunos de estos procesos como los 2 y 3 y pueden ser revertidos al levantarse el estrés, otros como los 1 y 8 pueden ser compensados en etapas posteriores del ciclo, mientras que efectos como los 4, 9, 10 llevan a una pérdida irreversible de rendimiento.

En otros ensayos De Datta y Williams, citados por Bouman y Tuong (2000) concluyeron que la reducción del rendimiento en grano estaba más relacionada con la duración del estrés hídrico que con el momento en que se producía el mismo.

Según De Datta et al. (1973) existe una respuesta diferente a la seca según los genotipos usados, este ensayo 3 momentos de sequía (durante periodo vegetativo, reproductivo y llenado de grano) y pudo agrupar cultivares según el momento en que se afectaban más por el estrés. Este concluyó que no existía un momento más sensible al estrés sino que esto dependía de cada material, no hay relación entre la duración del ciclo y la reducción de rendimiento, y solo las variedades IR-1561-38-5, Taichung, y MI-48 tuvieron la misma duración de ciclo con o sin sequía, todas las demás variedades (27), tuvieron largo de ciclos de entre 4 y 17 días más con estrés hídrico.

A partir de la diferenciación del primordio, los entrenudos comienzan a alargarse y la planta comienza a crecer a tasas muy elevadas. Este es el momento crítico para el desarrollo de la planta, pues esta siendo formado el número de granos/panoja (Congreso Brasileiro, 2005).

Stansel (1975b) determinó que el momento crítico del manejo del agua en el ciclo del cultivo era durante la iniciación de la panícula. Si las plantas están sujetas a estrés hídrico durante el desarrollo de la panícula se producen pérdidas irreversibles de rendimiento. Durante este periodo el cultivo se encuentra a máxima tasa de crecimiento por lo tanto tiene alta necesidad de agua

para el proceso de transpiración, por esta razón durante esta etapa la humedad del suelo no es suficiente para cubrir las necesidades del cultivo, el manejo adecuado debe realizarse mediante inundación constante.

2.4.3.2 Efecto del riego por inundación intermitente sobre el N y manejo de la fertilización con N.

Algunos investigadores como Bouman y Tuong (2000) han registrado que las diferencias entre el rendimiento de los sistemas intermitente y continuo se deben a las perdidas de N que ocurren cuando el suelo comienza a secarse y oxigenarse. Estas perdidas son atribuidas a los procesos de nitrificación-denitrificación.

Por otra parte Cabangon et al. (2004) reportaron en un ensayo realizado en China durante dos años que no existió respuesta diferencial a la fertilización con N en el sistema de riego intermitente, esto se lo atribuyeron a que durante los periodos de secado del sistema intermitente el contenido de humedad en la zona radicular fue cercano a la saturación y debido a esto la aeración fue reducida al igual que los procesos de nitrificación-desnitrificación

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN

El trabajo de campo fue realizado en el establecimiento agrícola El Junco perteneciente a la empresa DONISTAR S. en C., ubicada a 53 Kms hacia el noreste del Departamento de Salto por la Ruta 31 correspondiente a la 11° seccional Judicial y a la 9° seccional Policial, en el año agrícola 2005-2006.

El suelo del ensayo correspondió a un Brunosol de la Unidad Itapebí-Tres Árboles de acuerdo a la clasificación de suelos de la Dirección Nacional de Suelos, Aguas y Fertilizantes. Las características de este suelo se presentan en el siguiente cuadro. Los datos del horizonte A son producto de un análisis realizado previo a la siembra, mientras los datos del perfil completo corresponden a un Brunosol Eutrítico Típico (perfil M13-04) de la Unidad Itapebí-Tres Árboles del Compendio de Suelos del Uruguay.

Cuadro 2: Propiedades físicas y químicas del suelo.

Horiz	MO	Arena	Limo	Arcilla	C.org	ph	CIC ph7
	%	%	%	%	%	H ₂ O	meq/100gr
A	7,2	23	38	39	4,18	5,8	39,1
	Bases tot.	SB	Ca	Mg	K	Na	Zn
Ensayo	meq/100gr	%	meq/100gr	meq/100gr	meq/100gr	meq/100gr	mg/kg
	30,7	78,5	22,6	7,5	0,46	0,18	1,19

Horizonte	Lim inf	Transicion	Color	Arena	Limo	Arcilla	Carbono	ph	Bases (total)	CIC ph7
A	19	c	10YR2/1	13,1	46,3	40,6	3,99	6,2	30,3	35,8
Btu1	51	g	5YR2/1	7,4	27,4	65,2	1,81	6,8	52,9	56,3
Btu2	78	d	5YR2/2	7,1	28,4	64,5	1,01	7,5	53,2	53,2
Ck	92	a	10YR3/2	10,8	28,1	61,1	0,59	7,8	48,9	48,9
R	30									

Fuente: adaptado de URUGUAY.MGAP (2002)

3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental para el estudio del rendimiento en grano consiste en una comparación de medias poblacionales con dos tratamientos donde cada uno conformaba una población diferente. Los tratamientos consistieron en dos macroparcelas, una de 8.7 ha y la segunda de 5.56 ha donde se aplicaron los sistemas de riego continuo e intermitente respectivamente.

Para el estudio de la respuesta a N el diseño experimental fue en parcelas divididas en bloques al azar; siendo los sistemas de riego asignados a la parcela mayor y los diferentes niveles de fertilización nitrogenada fueron asignados aleatoriamente a las parcelas menores. Cada parcela tenía una medida de 5 x 2 m.

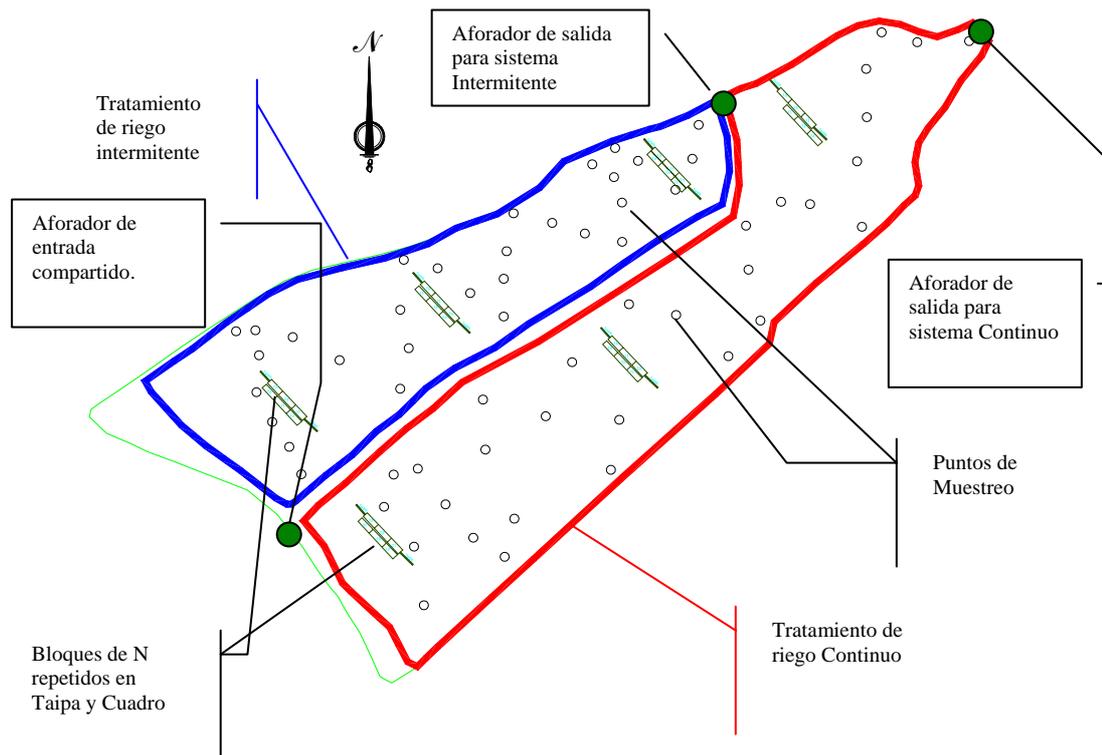


Figura N° 2: Plano de ensayo.

En el plano se observan los puntos de muestreo distribuidos aleatoriamente dentro de cada macroparcela, la línea roja representa la chacra con el sistema continuo mientras la línea en azul la chacra con sistema intermitente. Los bloques de los ensayos de nitrógeno se representan en el plano con rectángulos dentro de cada tratamiento de riego.

3.2.1 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el sistema SAS para Windows, versión 9.0.

3.2.1.1 Para el ensayo de N

Tratamientos: combinando tres dosis de nitrógeno posteriores a macollaje como se describió anteriormente, con las dos zonas en las que se evaluaron los sistemas de riego. Los tratamientos se organizaron en 3 bloques.

Modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + SR_i + N_j + (SRN)_{ij} + B_k + \delta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

$$i = 1, 2$$

$$j = 1, 2, 3$$

$$k = 1, 2, 3$$

Donde:

Y_{ijk} = es una V.A. observable dada en el bloque k-ésimo de la sub unidad que recibe el i-ésimo nivel del factor SR (sistema de riego) y el j-ésimo nivel del factor N (fertilización nitrogenada).

μ = media poblacional.

SR_i (*) = efecto del "i-ésimo" factor.

N_j = efecto del "j-ésimo" factor,

β_j = efecto del "k-ésimo" bloque.

$(SRN)_{ij}$ = efecto de interacción entre factor A y B

δ_{ik} = error experimental de la parcela mayor.

ε_{ijk} = V.A. no observable, error experimental.

(*) Corresponde a un efecto lugar en el que está incluido el sistema de riego.

Supuestos:

- El modelo es correcto y aditivo (en relación al material experimental).
- ε son V.A.I.I.D. $\sim N(0; \delta^2_\varepsilon)$
- $SR(\varepsilon_{ijk}) = \delta^2$
- No existe interacción entre tratamientos
- $\sum \alpha_i = 0$ (algunos tratamientos mejoran y otros reducen la media).
- Aleatorización en la asignación de los tratamientos a las unidades experimentales.

Hipótesis estadística:

Ho: $SR_1 = SR_2$

Ha: existe al menos un SR diferente.

Ho: $N_1 = N_2 = N_3$

Ha: existe al menos una diferente

Ho: $(SRN)_{11} = \dots = (SRN)_{ij}$

Ha: Hay interacción entre los factores

Hipótesis agronómica:

Ho: No existe diferencias significativas en el rendimiento promedio del cultivo bajo los diferentes sistemas de riego.

Ha: Existe al menos alguna diferencia significativa entre el rendimiento de los distintos sistemas de riego.

Ho: No existe diferencias significativas en el rendimiento promedio aplicando diferentes dosis de fertilizante N.

Ha: Existe al menos alguna diferencia significativa entre los rendimientos promedios según la dosis de fertilizante.

Ho: Los rendimientos promedios no son afectados por los efectos de la interacción

Ha: Los rendimientos promedios son afectados

Criterio de decisión:

Si el nivel de significancia muestral $Pr > F$ es menor al nivel de significancia teórico ($\alpha=0,05$) fijado por nosotros, entonces rechazamos H_0 con $P=0,05$ de cometer error Tipo I (rechazar H_0 / H_0 es cierta). Si el nivel de significancia muestral $Pr > F$ es mayor al nivel de significancia teórico ($\alpha=0,05$) fijado por nosotros, entonces no rechazamos H_0 con $P = \beta$ de cometer error Tipo II (No rechazar H_0 / H_0 es falsa).

3.2.1.2 Para el análisis de los sistemas de riego

OBJETIVO: Medir el rendimiento en grano de un cultivo de arroz; sometido a dos sistemas de riego (continuo e

intermitente). Esto se repitió para tres lugares de muestreo (cuadro, taipa y desgote).

Se realiza un muestreo al azar dentro de cada macroparcela para determinar el rendimiento de cada tratamiento de riego.

Tratamientos: 2 sistemas de riego

Repeticiones: 30 sitios de muestreo por tratamiento

Unidad experimental: una parcela (donde se realiza el muestreo).

Modelo estadístico:

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

$$i = 1, 2$$

$$j = 1, 2, \dots, 30$$

Donde:

Y_{ij} = rendimiento en grano. Variable Aleatoria (V.A.) observable

μ = media poblacional.

R_i = efecto del "i-ésimo" tratamiento, efecto del sistema de riego utilizado.

ε_{ij} = error experimental es una V.A. Para cada tratamiento y cada repetición

Supuestos:

- El modelo es correcto y aditivo (en relación al material experimental).
- ε son V.A.I.I.D. $\sim N(0; \delta_\varepsilon^2)$
- $V(\varepsilon_{ij}) = \delta^2$
- No \exists interacción entre tratamientos (no hay ningún término que contenga tratamientos juntos).
- $\sum_i \alpha_i = 0$ (algunos tratamientos mejoran y otros deprimen la media).

Interpretación agronómica del modelo:

Y_{ij} = V.A. observable (rendimiento en grano) que se genera al aplicar el "i-ésimo" tratamiento en la "j-ésima" repetición.

R_i = efecto del "i-ésimo" sistema de riego (hay tantos α como tratamientos)

ε_{ij} = V.A. no observable, error experimental que se genera al aplicar el "i-simo" tratamiento en la "j-ésima" repetición.

Hipótesis de trabajo:

Ho: $\mu_1 = \mu_2$

Ha: Las medias son diferentes.

Criterio de decisión: Si el nivel de significancia muestral $Pr > F$ es menor al nivel de significancia teórico ($\alpha=0,05$) fijado por nosotros, entonces rechazo Ho con $P=0,05$ de cometer error Tipo I (rechazar Ho/ Ho es cierta). Si el nivel de significancia muestral $Pr > F$ es mayor al nivel de significancia teórico ($\alpha=0,05$) fijado para este test, entonces no rechazo Ho con $P = \beta$ de cometer error de Tipo II (No rechazar Ho/ Ho es falsa).

3.2.1.3 Para el análisis de los coeficientes de senderos

Con el fin de analizar en profundidad los resultados de rendimiento de los sistemas de riego, tomamos cada tratamiento de riego como una población, estudiando los componentes de rendimiento pudiendo establecer relaciones causales entre las variables objeto de estudio. Para esto utilizamos el *Análisis de Coeficientes de Senderos* cuyo objeto es el estudio de los efectos de unas variables consideradas como causas sobre otras tomadas como efecto, este análisis es una técnica similar a la regresión pero con poder explicativo.

3.2.2 Tratamientos de riego

El comienzo del periodo de riego fue para el sistema continuo el 2 de Diciembre del 2005 a los 30 días pos emergencia. A partir de este momento el cultivo se mantuvo en inundación permanente hasta el momento de fin del riego el 15 de Marzo de 2006, esto significo un largo de periodo de riego de 103 días.

En el sistema por inundación intermitente se comenzó dicho periodo el 29 de Noviembre de 2005, finalizando el 15 de Marzo de 2006, esto significo un largo de periodo de riego de 106 días. El riego de este sistema se aplicaba con el criterio de mantener el suelo en estado de saturación con el mínimo gasto de agua. El criterio practico usado para determinar el momento de reinicio del riego era cuando comenzaba a desaparecer el agua libre de la superficie del suelo. Al momento de realizar el riego se determinaba que partes de la chacra era necesario regar y a través de canales internos se llegaba a estos puntos.

El registro de gasto de agua se realizo por medio de aforadores volumétricos instalados en tres lugares. El aforador N° 1 se ubico a la entrada de la chacra y permitía regar cada tratamiento por separado. El aforador N°2 se ubicaba de forma de recoger y medir los excesos causados por el escurrimiento superficial del sistema intermitente, mientras el aforador N° 3 se ubicaba de forma similar pero en el sistema continuo (Figura N° 2).

Estos aforadores se utilizaron con el fin de llevar un registro de los gastos de agua, y no con el fin de realizar comparaciones entre los distintos sistemas de riego.

3.2.3 Tratamientos de nitrógeno

Los tratamientos para evaluar la respuesta a nitrógeno fueron los siguientes:

To - sin aplicación de N posterior a macollaje

T1 - 23 UN en primordio

T2 - 23 UN en primordio + 23 UN en 50% de floración

Todos los tratamientos se instalaron el 9 de Enero de 2006 al momento de diferenciación de la panicula, por lo tanto el manejo previo fue igual que para los ensayos de riego. A la siembra se aplicaron 16.5 Unidades de N y 78 Unidades de P_2O_5 , y en la etapa de tres macollos se aplicaron 37 Unidades de N en forma de urea para todos los tratamientos.

El N se aplico en forma de urea (46-0-0). La aplicación en el momento de floración se realizo el 12 de Febrero de 2006.

Se realizaron tres bloques por sistema de riego y se instalaron repeticiones en taipa y cuadro para cada bloque.

Cuadro N° 3: Esquema de tratamientos de N

		Sistema Intermitente			Sistema Continuo		
Bloque 1	Taipa	T2	T0	T1	T0	T2	T1
	Cuadro	T2	T1	T0	T1	T0	T2
Bloque 2	Taipa	T2	T1	T0	T0	T1	T2
	Cuadro	T1	T2	T0	T2	T0	T1
Bloque 3	Taipa	T2	T1	T0	T2	T0	T1
	Cuadro	T0	T2	T1	T1	T2	T0

3.3 MANEJO DE CULTIVO

El cultivo se realizo sobre un retorno de arroz que a su vez provenía de una pradera de 4 años.

La preparación de suelos consistió en aplicación de una mezcla de 4 litros de glifosato (36% principio activo) + 200 gr de dicamba al 12 de Octubre de 2005.

La sistematización de suelos se realizo construyendo taipas a nivel mediante el uso de sistema láser, a 7 cm de intervalo vertical.

Se sembró el 20 de Octubre de 2005 a razón de 140 kg/ha de semilla certificada de cultivar El Paso 144. Esta operación se realizo en siembra directa con maquina John Deere modelo 750 a 19 cm entre líneas.

La fertilización basal consistió en 150 kg/ha de 11-52-0 (16.5 UN y 78 UP como P₂O₅) localizado en la fila junto a la semilla. Se fertilizo con 37 UN en forma de urea al estadio de tres macollos, mediante aplicación aérea.

No se aplicaron herbicidas selectivos de pos emergencia, fungicidas ni insecticidas al no detectarse incidencia de malezas, enfermedades o plagas.

La cosecha se realizo entre el 10 y el 11 de Abril de 2006.

3.4 MEDICIONES EFECTUADAS

3.4.1 Mediciones en el cultivo

Se realizaron muestreos de suelo previo a la siembra con el objetivo de determinar los niveles de fósforo y contenido de MO.

Se realizó un conteo de plantas/m² y macollos/planta el 7 de Diciembre. La metodología consistió en contar plantas y macollos en 2 líneas de 50 cm de largo en cada punto de muestreo.

Las extracciones de materia seca fueron realizadas en macollaje a los 40 DDE (15 de diciembre), en primordio 65 DDE (9 de enero), en floración a los 99 DDE (12 de febrero) y en cosecha a los 156 DDE (10 de abril). Las muestras consistían en el corte de 1 hilera de 50 cm de largo por punto de muestreo.

El 19 de enero a los 75 DDE en etapa de primordio se midió altura de planta hasta la punta de hoja bandera con el objetivo de determinar diferencias en desarrollo vegetativo.

El 30 de enero a inicio de floración a los 86 DDE se realizó la medición de largo de panoja (distancia ápice-punta de panoja) para determinar diferencias en estado de la floración, y una nueva determinación de altura de planta con 5 medidas por punto de muestreo.

3.4.2 Mediciones posteriores a la cosecha

La cosecha fue realizada del 10 al 11 de Abril a los 156 DDE. Se cortaron con hoz parcelas de 6 m² en cada punto de muestreo para determinar rendimiento del cuadro, a su vez se cosecharon 3 m² de desgote y de taipa.

Para los ensayos de N se cosecharon los 6 m² centrales de cada parcela de 5x2m.

El material cosechado fue trillado por una trilladora experimental. Luego en el laboratorio se realizó la limpieza del grano, se registró el peso y se corrigió por el grado de humedad estandarizando al 13%. Este proceso fue igual para los dos ensayos. La humedad se determinó mediante un humidímetro electrónico.

Se realizo el día 12 de Abril en dos líneas de 1 m la extracción de parte aérea de las plantas para la obtención de: de Materia seca Total, rendimiento en granos, N° de panojas/m² y de esta manera poder calcular índice de cosecha y componentes de rendimiento para cuadro y taipa de cada punto de muestreo. Las muestras de MS se secaron en estufa a 60 °C hasta que alcanzaron peso constante.

Para completar los componentes de rendimiento se cortaron 30 panojas en taipa y 30 en cuadro de cada punto de muestreo para determinar el número de granos/panoja y el peso de 1000 granos. Se contaron granos llenos y vacíos de cada panoja, separándose 1000 granos de cada muestra para posteriormente pesarlas y corregir por humedad a 13%.

Posteriormente se realizo el análisis de calidad industrial de 15 muestras de cada sistema de riego para la zona de taipa y cuadro.

3.4.3 Registro climático

El registro de las variables climáticas se realizo mediante una estación meteorológica automática Davis Vantage Pro 2 instalada en el ensayo el día 9 de diciembre de 2005.

Por otra parte también se tomo registro diario de evaporación en Tanque A, instalado a 5 km de la chacra el 9 de diciembre.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CONDICIONES CLIMÁTICAS PARA LA ZAFRA 05/06

El registro de las variables climáticas se realizó con el fin de caracterizar las condiciones ambientales presentes para la zafra 05/06, ya que estas tienen efecto determinante sobre el rendimiento del cultivo, las variables de mayor importancia son la temperatura (máxima, media y mínima) y radiación.

4.1.1 Temperatura

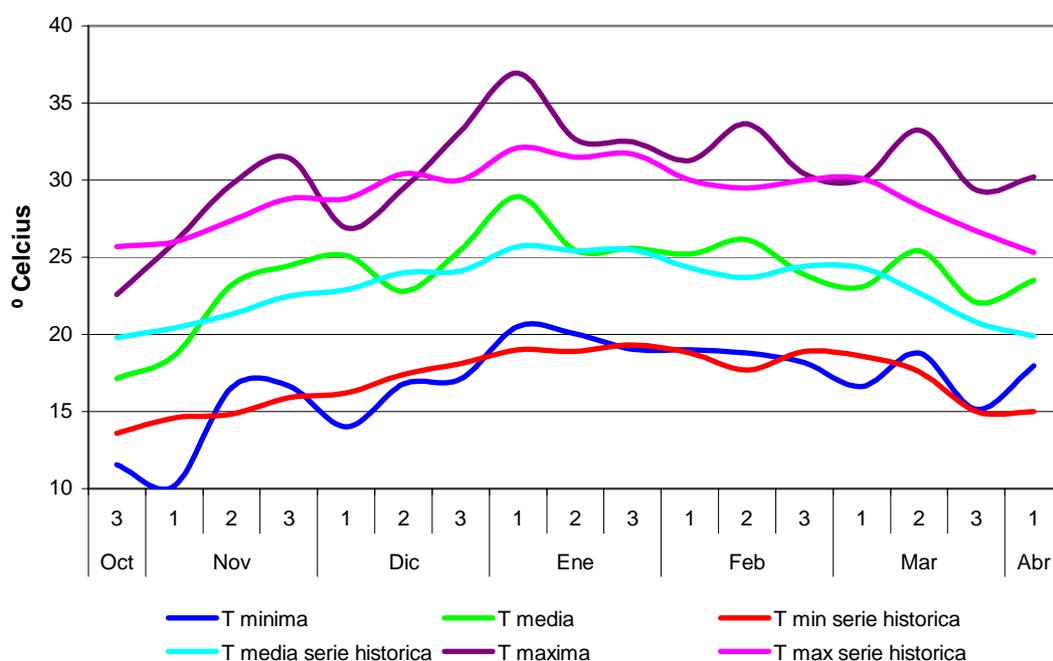


Figura N° 3: Temperatura media, máxima y mínima para la zafra 05-06 en El Junco comparadas con serie histórica 90-05. Datos de casilla (1.5 m sobre el suelo). Fuente: Estación Meteorológica El Junco e INIA Salto Grande.

Como se observa en la grafica las temperaturas mínimas no fueron limitantes para el desarrollo del cultivo, estas al igual que las temperaturas medias fueron similares a las temperaturas de la serie histórica, en tanto las temperaturas máximas se caracterizaron por situarse por encima de la media histórica. En la siguiente grafica se presenta la evolución diaria de las

temperaturas en el cultivo a 50 cm de altura 15 días entorno a floración.

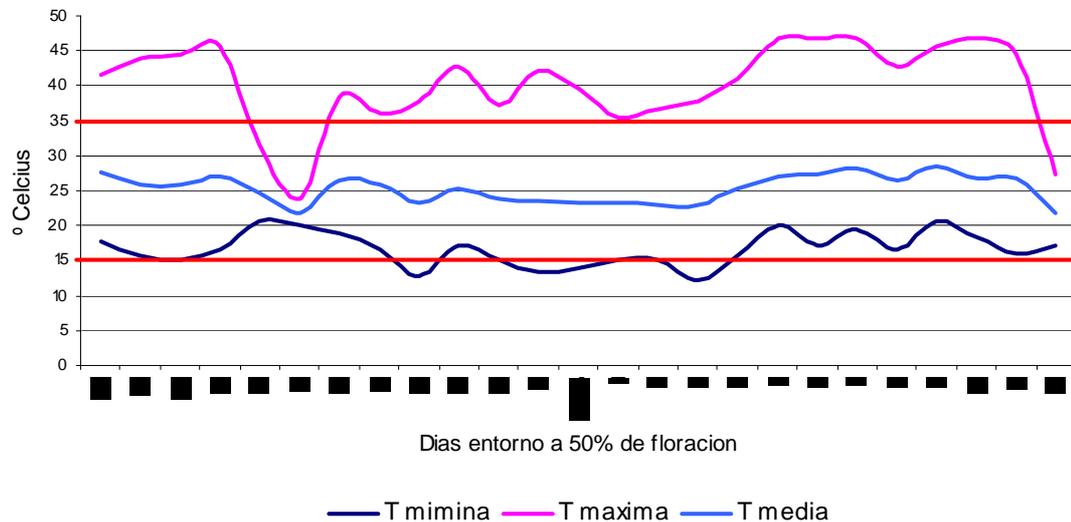


Figura N° 4: Temperaturas en el cultivo a 50 cm de altura 12 días entorno a floración. Fuente: Estación Meteorológica El Junco.

En la grafica se observa que durante el periodo de floración existieron limitantes de temperatura tanto de mínimas como de máximas, con 4 días con temperaturas menores a 15° c y con 21 días con temperaturas mayores a 35° c. Según Stansel (1975a) las temperaturas por encima de 35° c afectan la polinización al igual que las temperaturas por debajo de 15° c. Por lo tanto podemos decir que las mayores limitaciones fueron por exceso de temperaturas en la floración. Este mismo autor indica que las temperaturas óptimas de floración son de 30 a 33° c.

Por otra parte Chebataroff y Píriz (1990) concluían que en la etapa crítica que se ubica 8 a 12 días antes de floración temperaturas medias de 15 a 20° c actuando durante varios días (5 o 6) pueden producir elevados índices de esterilidad. En esta parte no existieron problemas ya que las temperaturas medias siempre estuvieron por encima de 20° c.

Laude y Stansel, citados por Stansel (1975a) determinaron que bajo condiciones normales la floración ocurre desde las 9 AM a la 1 PM, y estas flores están abiertas desde 40 minutos a 2 horas. En la siguiente grafica se presentan las temperaturas en este periodo durante los días de floración.

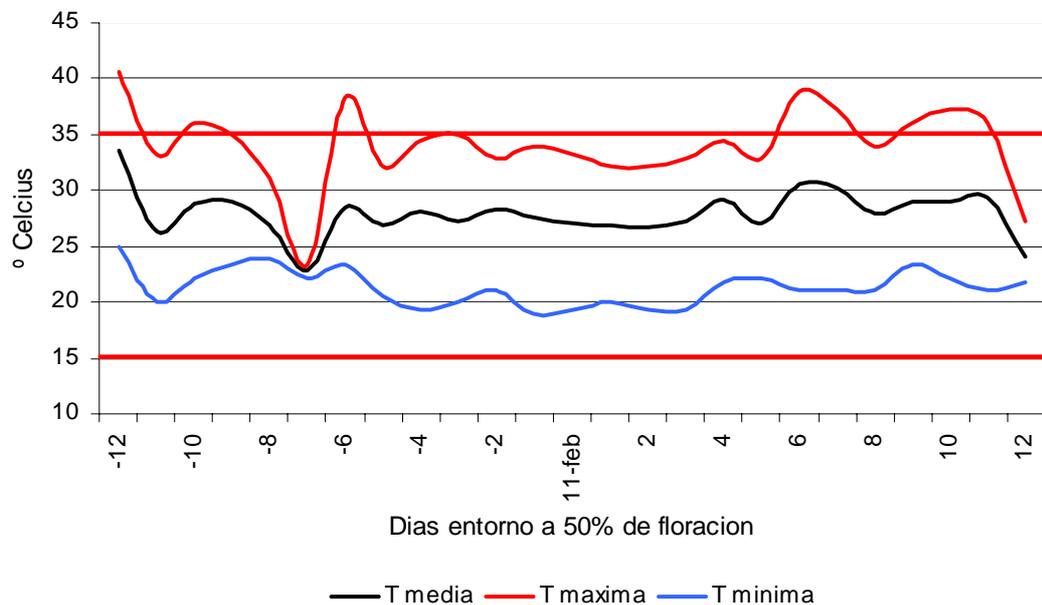


Figura N° 5: Temperaturas desde las 9 AM a 1 PM durante los 12 días pre y pos floración en la chacra a 50 cm de altura. Fuente: Estación Meteorológica El Junco.

Como se observa en esta grafica durante las horas en que se da la floración solo existieron limitantes por exceso de temperaturas. Sin embargo la temperatura promedio siempre se ubico cercana al nivel óptimo.

4.1.2 Radiación solar y Heliofanía

La radiación solar es una medida de la energía que irradia el sol sobre el suelo. Es sabido que este factor tiene una gran importancia desde primordio a maduración para determinar el rendimiento.

La radiación solar medida como Heliofanía relativa nos muestra que en la zafra de estudio los valores fueron en promedio 36 minutos por día mayor que la serie histórica. Esta diferencia se calculo desde emergencia a madurez fisiológica.

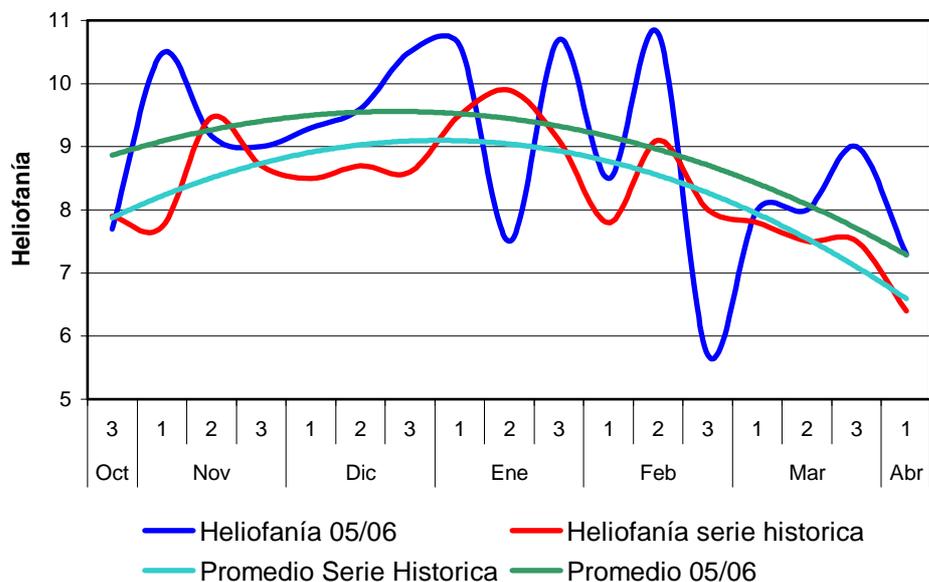


Figura N° 6: Heliofanía relativa para la serie histórica y para la zafra 05/06. Fuente: Estación meteorológica INIA Salto Grande.

Munakata, citado por Roel (1998a) encontró una fuerte correlación entre el número de granos llenos/m² y los valores de radiación en un periodo que abarca desde 40 días previos a la floración hasta 10 días posteriores a la misma. Stansel (1975a) determino que el periodo de máximo requerimiento de luminosidad se extiende desde la diferenciación de la panoja hasta 10 días antes de madurez fisiológica. Según este autor para condiciones de Texas EUA se puede esperar una reducción del 2% de rendimiento por cada 1% de reducción de la radiación solar.

Por tanto en nuestras condiciones sería deseable que la floración ocurra en enero. De cualquier manera para la zafra del ensayo la radiación no fue limitante en ninguna de las etapas dado los pocos días nublados observados.

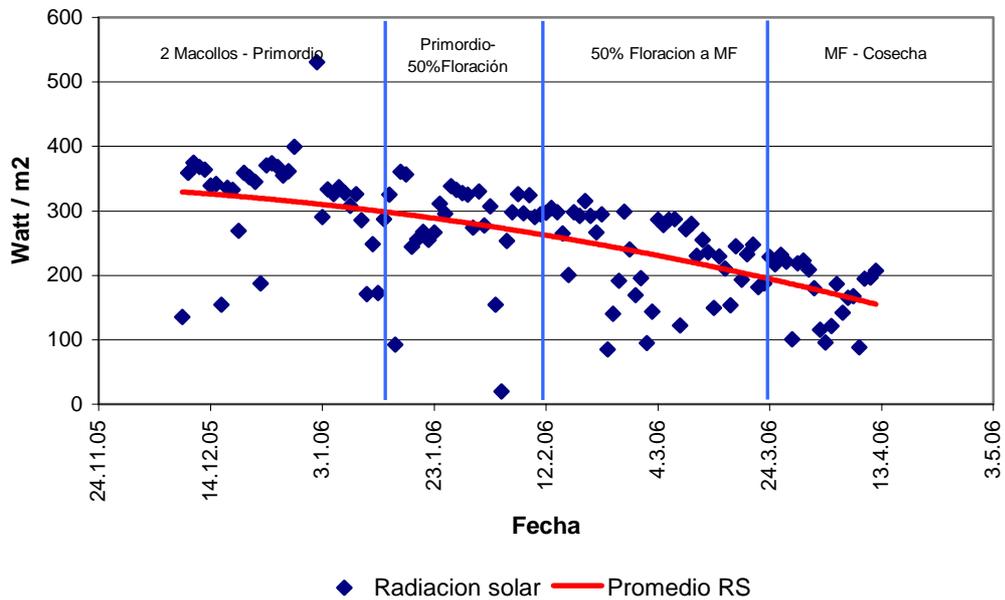


Figura N° 7: Radiación solar y etapas de desarrollo. Fuente: Estación Meteorológica El Junco.

4.1.3 Precipitaciones

Esta variable será tratada desde el punto de vista del aporte al riego y especialmente durante la emergencia e implantación del cultivo.

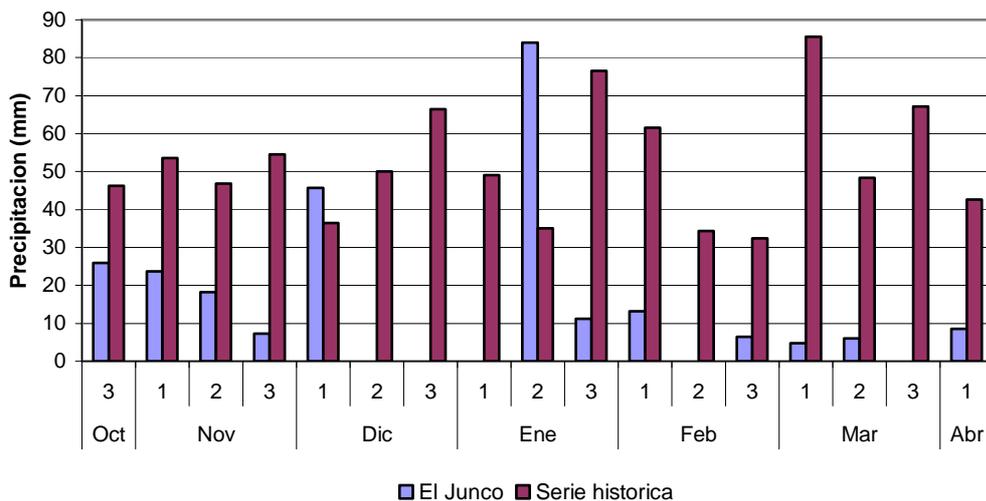


Figura N° 8: Precipitación decádica para la zafra 05/06 registrada en El Junco y promedio serie histórica de Salto. Fuente: Estación meteorológica El Junco e INIA Salto Grande.

Como se observa en la grafica las precipitaciones estuvieron muy por debajo de los promedios históricos pero durante las etapas de germinación las lluvias permitieron el nacimiento del cultivo y el desarrollo de la plántula, no justificando la aplicación de baños durante estas etapas.

4.1.4 Evaporación de Tanque A

El registro de evaporación comenzó junto con el riego finalizando de la misma manera.

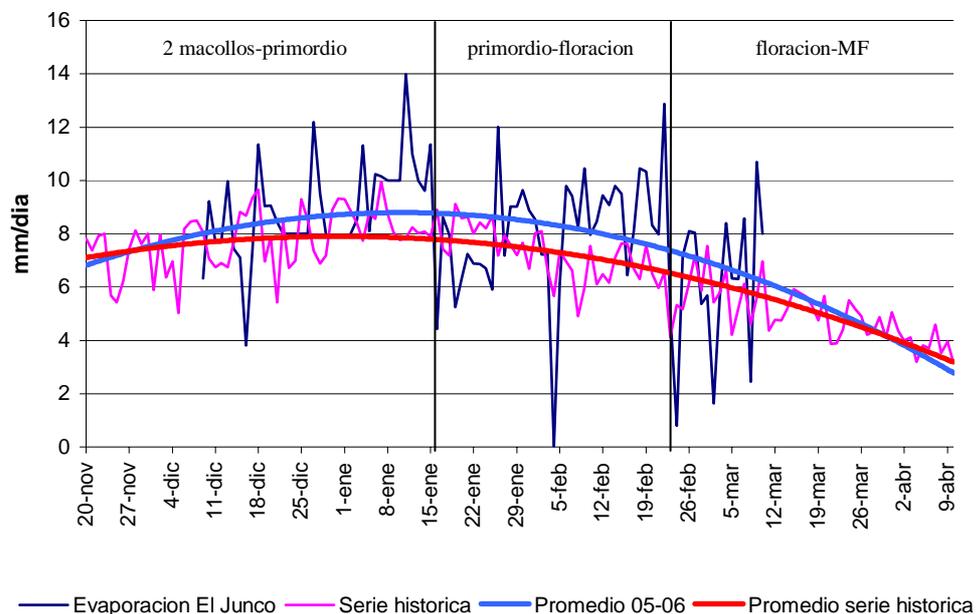


Figura N° 9: Evaporación Tanque A. Fuente: Estación Meteorológica El Junco e INIA Salto Grande.

Los valores de evaporación al igual que las temperaturas fueron más elevados que el promedio histórico lo que conlleva un mayor gasto de agua por el cultivo, comparado con el promedio.

4.2 GASTO DE AGUA

El registro del gasto de agua correspondiente a los dos sistemas se realizó con el fin de mejorar la práctica del riego y tener una aproximación de los componentes del gasto de agua, pero no con el fin de detectar diferencias estadísticas entre los sistemas de riego.

4.2.1 Gasto de agua y componentes del riego

En la siguiente grafica se presentan los gastos de agua que presentaron los sistemas de riego durante todo el periodo de riego. Como se observa en la misma el sistema de riego intermitente utilizo 1350 m³/ha menos que el sistema continuo lo que significa un 12% de reducción del gasto.

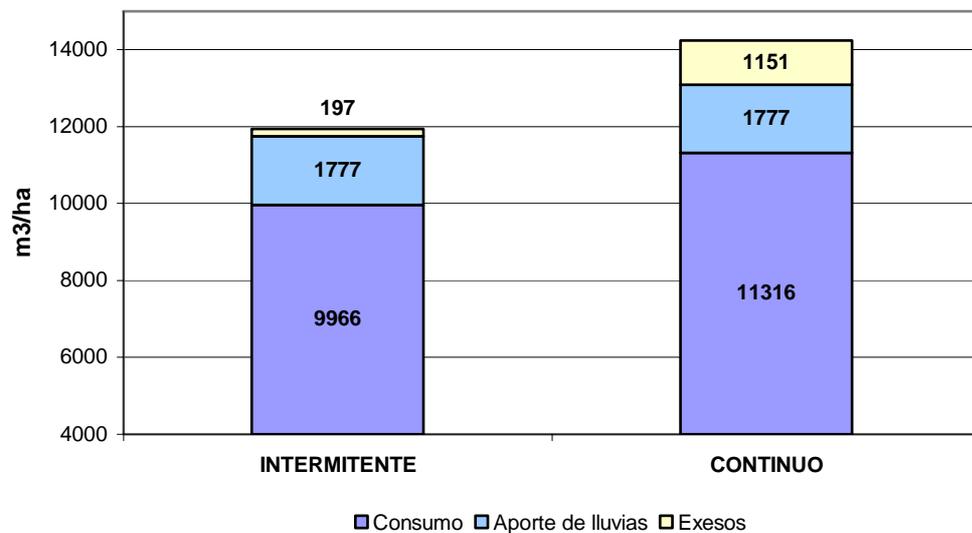


Figura N° 10: Componentes del riego

El calculo de consumo de agua se realizo restándole a la entrada total de agua el volumen medido en los aforadores de salida de cada sistema de riego que se consideraban excesos.

El caudal utilizado fue similar en los dos sistemas de riego, con un caudal promedio de 1.1 lt/s/ha de flujo continuo para el sistema intermitente y 1.4 lt/s/ha para el sistema continuo. El promedio de duración del riego en el sistema intermitente fue de 9,8 hs por baño, mientras para el sistema continuo fue de 24 hs.

Con estos valores de caudales y duraciones de riego se aplicaron en promedio para el sistema intermitente 1 baño de 284.75 m³/ha cada 72 horas, mientras que para el sistema de riego continuo se aplicaron 107.77 m³/día.

Generalmente se trata que la aplicación del riego cubra las variaciones en la demanda de agua por parte del cultivo y de la atmósfera. La manera de cubrir estas demandas es variar, o los caudales de riego, o bien aumentar la frecuencia de riego. La grafica siguiente muestra la evolución de los caudales promedio durante los distintos momentos del ciclo del cultivo.

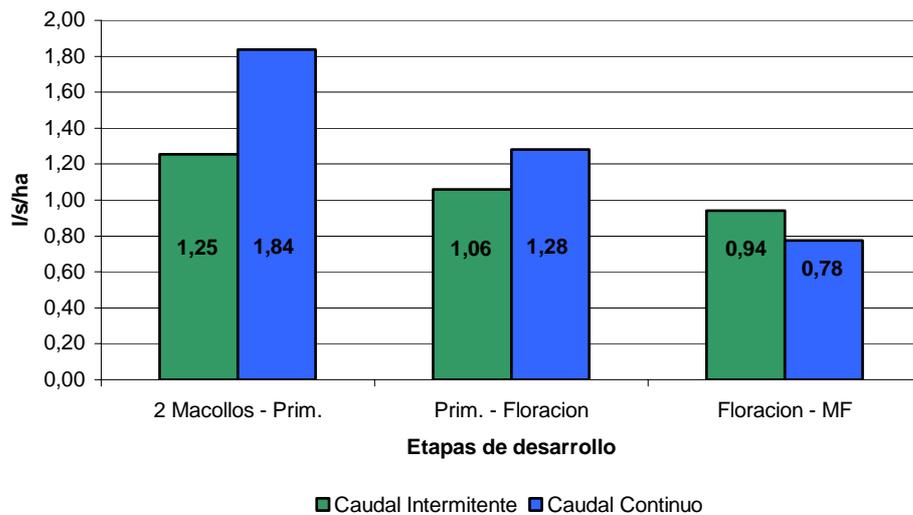


Figura N° 11: Caudales promedio de riego según estado fisiológico del cultivo.

Se observa el uso de mayores caudales en el sistema continuo en las etapas de 2 macollos-primordio debido que en este periodo se da la primera inundación de la chacra que, esto insume aproximadamente 100 mm ya que se empieza a regar desde suelo seco. La fase primordio-floración es cuando se dan los picos de consumo de agua debido a la máxima ETc. Existe una tendencia a disminuir el caudal a medida que avanza el ciclo, esto ultimo puede ser explicado si vemos la aplicación del riego como función de la demanda del cultivo, y sobre todo de la evapotranspiración como se observa en la siguiente grafica.

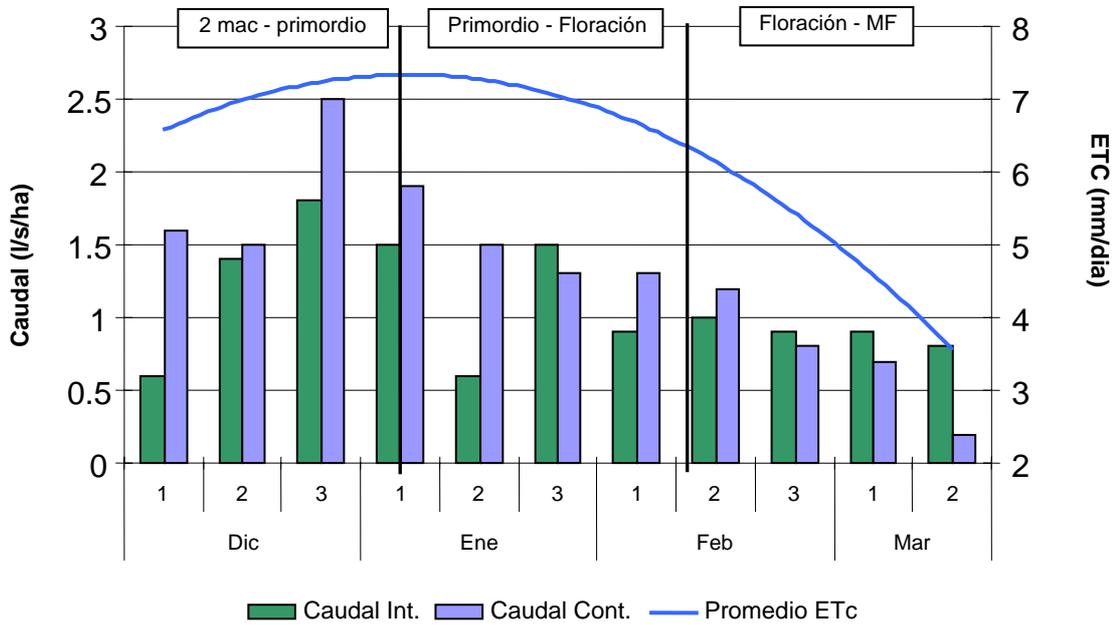


Figura N° 12: Evolución de ETC, caudales de riego decádicos y estado Fisiológico.

El cultivo se encuentra a altas tasas de desarrollo durante el estado de primordio a floración por lo tanto tiene alta necesidad de agua para el proceso de transpiración. La evapotranspiración del cultivo calculada como $ETP \cdot K_c$, para la zafra fue de 678 mm, valor similar a los 600 mm reportados por Blanco (1988) para la zafra 83-84.

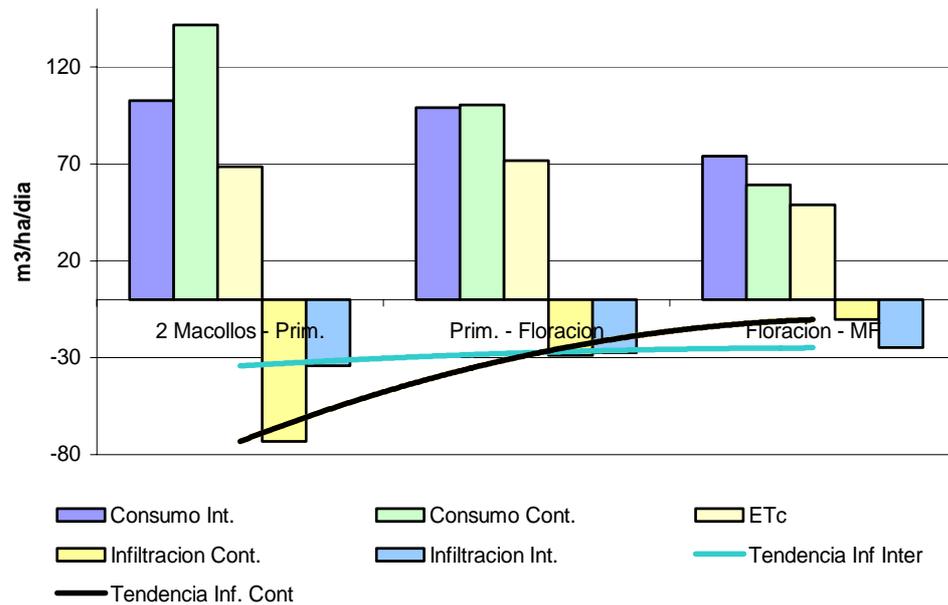


Figura N° 13: Relación entre el consumo (gasto total - excesos), ETC e infiltración estimada (consumo - Etc).

Los valores de infiltración promedio fueron de 0.12 y 0.16 mm/hora para el sistema intermitente y continuo respectivamente. El mayor valor para el sistema continuo es coincidente con la investigación realizada en Arkansas, citado por García Ricci (1982) y que resulta de una mayor presión hidrostática debido a la presencia de una mayor lámina de agua.

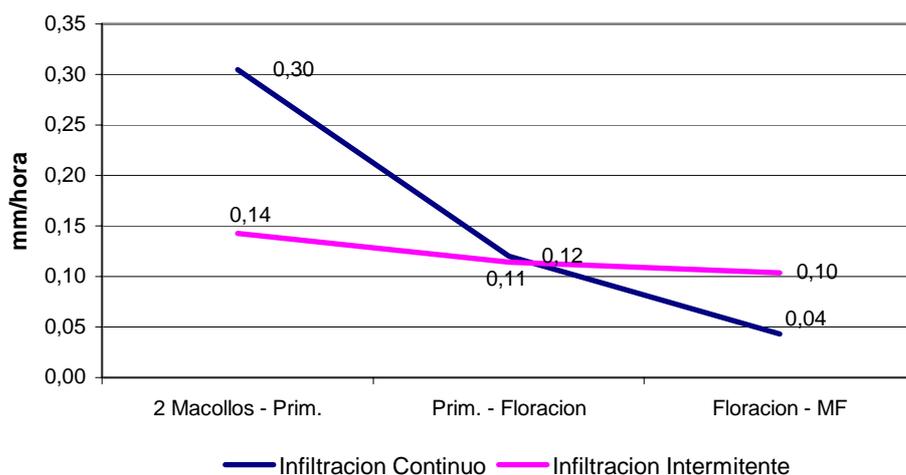


Figura N° 14: Tasas de infiltración estimada en función del estado fisiológico del cultivo

Estos valores llevados a infiltración diaria resultan en 2.88 y 3.84 mm/día (promedio para todo el periodo de riego) para sistema intermitente y continuo respectivamente, muy similar resultado obtuvo García (2005) donde reporto valores de infiltración para Brunosoles Eutricos L.A. con 40% de arcilla de Unidad Itapebi-Tres Árboles de 4 mm por día.

4.3 RESULTADOS EN EL CULTIVO

4.3.1 Crecimiento del cultivo

Se relevaron datos de emergencia en los dos sistemas de riego. Al momento de emergencia del cultivo no se encontró diferencia significativa entre ambos sistemas, lográndose un stand de plantas adecuado en cada tratamiento. También se realizó un muestreo para conteo de plantas a los 30 días pos emergencia en cada sistema. Los valores máximos, mínimos y promedios de el tratamiento riego intermitente fueron 352, 58 y 149 pl/m² respectivamente, mientras que para el continuo fueron de 347, 71 y 170 pl/m² respectivamente, estos valores no presentaron diferencias significativas con una $p > F$ de 0,249.

Para monitorear el desarrollo del cultivo se realizaron mediciones de materia seca en distintos momentos del cultivo, en el siguiente cuadro se muestran estos datos

Cuadro N° 4: MS aérea en distintos momentos del cultivo.

	Rendimiento MS kg/ha	
	Sistema de riego	
	Intermitente	Continuo
MS macoll (40 DDE)	2431 a	3215 b
MS prim (65 DDE)	8557 a	9014 a
MS florac (99 DDE)	24104 a	24869 a
MS cosecha (156 DDE)	17889 a	19515 b

* Medias seguidas de letras iguales no difieren significativamente.

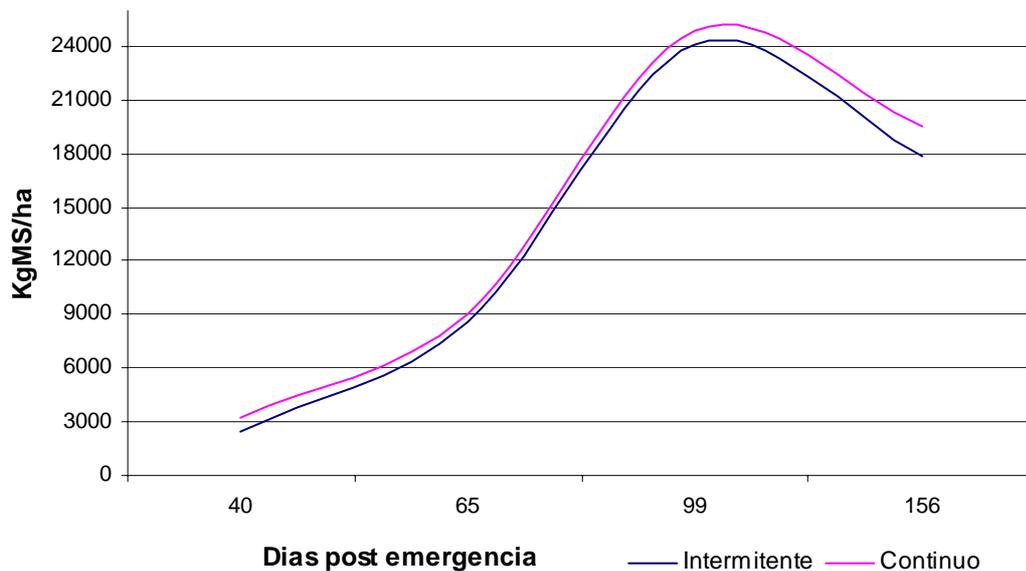


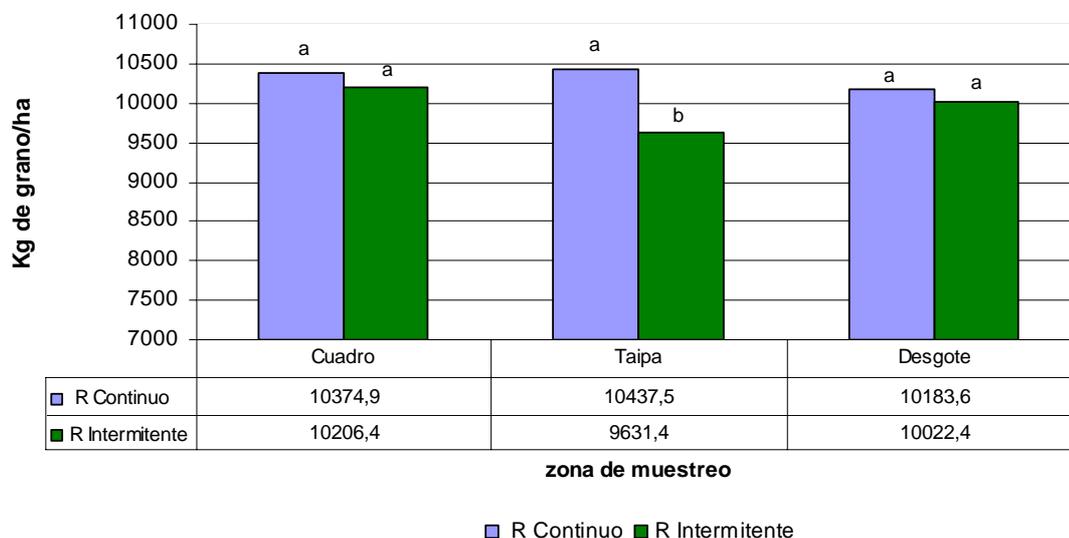
Figura N° 15: Evolución de la biomasa a nivel de cuadro en los tratamientos de riego

Como se observa en el cuadro N° 4 la materia seca (MS) durante la etapa vegetativa del cultivo fue superior en el tratamiento de riego continuo. Desde la etapa de primordio en adelante los tratamientos tuvieron valores similares de MS. Las diferencias en la etapa vegetativa pueden ser debidas a que el cultivo bajo riego intermitente durante esta etapa sufrió cierta falta de agua que disminuyó su tasa de crecimiento. Si observamos las graficas de temperatura y evaporación el periodo de mayor demanda atmosférica se da hasta la segunda década de enero.

El tratamiento de riego continuo alcanzo un mayor volumen de materia seca total que el Intermittente, aunque en la etapa de floración tenían el mismo. Esto se debe a que el sistema intermitente no concreto la misma cantidad de grano por tanto al final del ciclo se presento con menor MS.

4.3.2 Rendimiento en grano.

El rendimiento fue medido en tres lugares dentro de cada punto de muestreo, para así poder evaluar las diferencias que podrían existir entre el arroz de cuadro, taipa y desgote bajo cada tratamiento. La siguiente figura muestra los valores promedio de rendimiento.



* Las medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia significativa al 5%. Las comparaciones se realizan entre cuadro RC vs cuadro RI, taipa RC vs taipa RI y desgote RC vs desgote RI.

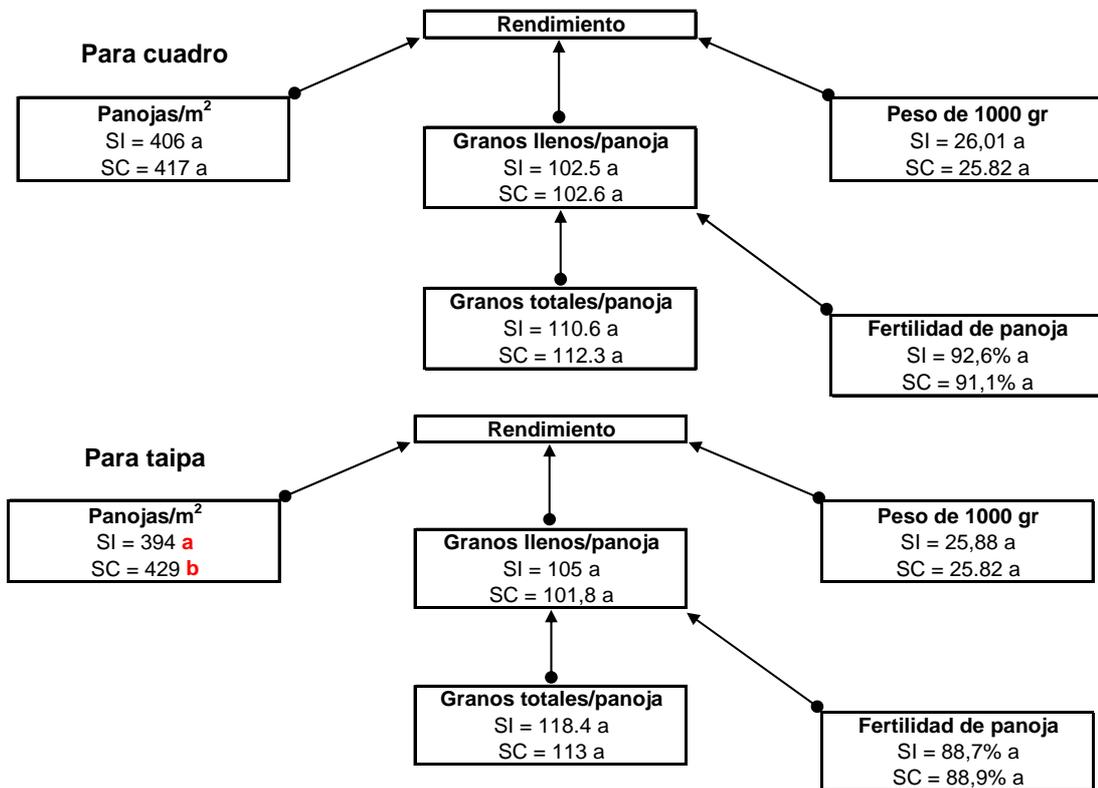
Figura N° 16: Rendimiento de grano seco y limpio

Claramente las diferencias en rendimiento se dan solamente en la zona de taipa, seguramente esto se debe a que en el riego continuo al tener una lamina de agua permanente el arroz de taipa no sufre deficiencia hídrica, mientras que en el sistema intermitente el cultivo sobre la taipa sufre la falta de agua debido a que la intermitencia del riego no permite mantener saturado el suelo en esta zona.

En las macro parcelas estudiadas el arroz de taipa al igual que el desgote significaban aproximadamente un 28.5% del total, mientras que el área de cuadro significa un 43% del total del área. La cantidad de taipas en una chacra esta asociada a la pendiente que tenga la misma y a el intervalo vertical a que están construidas las taipas, en estas chacras la pendiente era de 2% en promedio y el intervalo vertical entre las taipas de 7 cm. Por lo tanto podemos calcular un promedio ponderado para estimar el rendimiento que tendría la macroparcela. El rendimiento calculado de esta forma es de 10338 Kg/ha para el riego Continuo y de 9989 Kg/ha para el riego Intermitente.

4.3.2.1 Componentes del rendimiento

La siguiente figura muestra los valores promedio de los distintos componentes de rendimiento para cada sistema de riego.



SI = Sistema de riego intermitente

SC = Sistema de riego continuo

* Las medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia significativa al 5%.

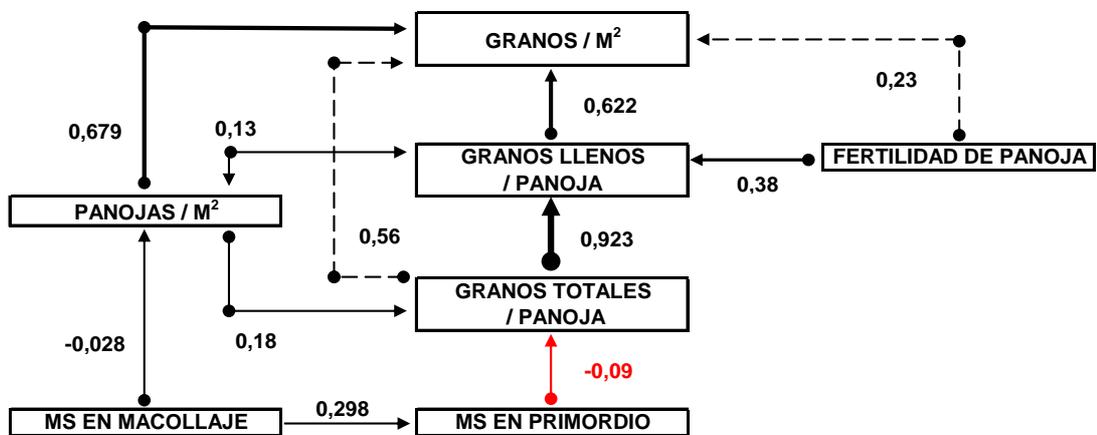
Figura N° 17: Componentes de rendimiento.

En esta figura se observa claramente que el factor que incidió para que el rendimiento en grano fuera menor en la taipa bajo riego intermitente, fueron las panojas/m². A pesar de que al momento de inicio de riego los tratamientos no tuvieron diferencias significativas en cuanto a número de plantas/m². Un bajo número de panojas fue producido por una menor tasa de crecimiento durante el macollaje. Esto puede ser atribuido a la sensibilidad del sistema de riego intermitente, que con una elevada demanda atmosférica no pudo mantener la humedad necesaria en la zona de lomo de taipa, provocando un estrés hídrico que terminó reduciendo el número de panojas por metro cuadrado. La reducción en este componente no pudo ser

compensado por los demás ya que estos estuvieron cerca de su potencial.

Con el fin de analizar en profundidad el porque de las diferencias en rendimiento entre las taipas de los sistemas de riego utilizamos el *Análisis de Coeficientes de Senderos*. En la siguiente figura se presenta este análisis entre los componentes de rendimiento de cada sistema de riego.

Riego Continuo ($Pr > Chi^2 = 0,20$)



Riego Intermitente ($Pr > Chi^2 = 0,89$)

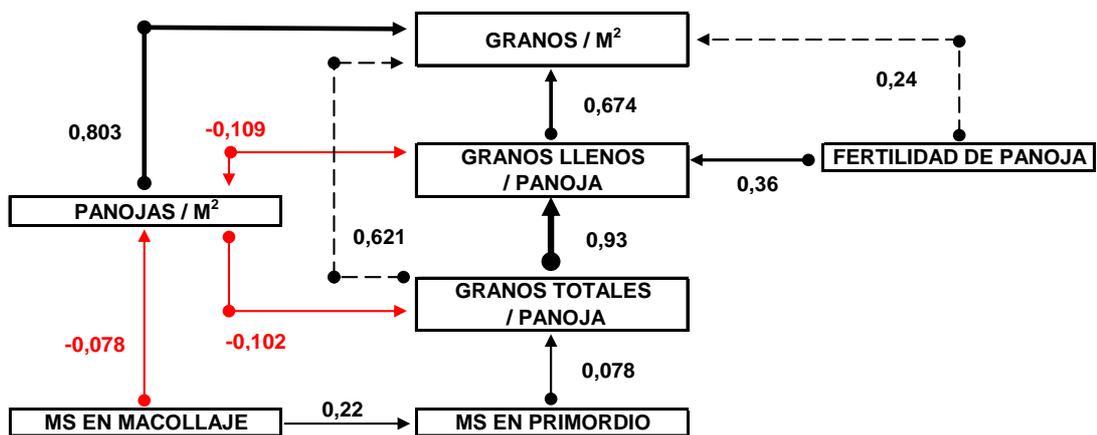


Figura N° 18: Coeficientes de Senderos

Las líneas punteadas son efectos indirectos mientras que las continuas indican efectos directos. La doble flecha no indica causalidad sino que es una correlación. En el análisis no se incluyó la variable peso de grano porque es sabido que se mantiene relativamente constante, sin embargo se estudiaron las variable que consideramos

mas importantes para definir el rendimiento en grano del cultivo.

En el esquema para riego continuo muestra un peso similar de las panojas/m² y de los granos llenos por panoja sobre los granos/m² con un peso importante de los granos totales por panoja. En los dos esquemas la fertilidad de panoja es una variable de menor importancia. Esto seguramente es debido a que no existieron grandes limitantes durante la floración en ambos sistemas de riego. Esto también se respalda en que el número de granos llenos estuvo muy determinado por el número de granos totales. O sea que podemos decir que en este año y en estos tratamientos las etapas importantes para definir el rendimiento fueron final de macollaje donde se definen tallos fértiles por m² y primordio donde se define el número máximo de granos por panoja.

Observando el esquema para el sistema de riego Intermitente vemos que la variable que mas peso a la hora de determinar el rendimiento fueron las panojas/m², lo que indica como se menciono anteriormente que durante la etapa final de macollaje este tratamiento produjo una deficiencia de agua sobre el cultivo que estaba sobre lomo de taipa, resultando en menos tallos fértiles por m².

Como muestran los coeficientes de senderos los valores de MS no tuvieron efecto sobre las panojas/m² y sobre los granos/panoja.

4.3.2.2 Índice de cosecha

El Índice de cosecha es la proporción del producto cosechable en la biomasa total.

Cuadro N° 5: Índice de Cosecha

Sistema riego	Indice de Cosecha	
	cuadro	taipa
Intermitente	0.510 a	0.489 a
Continuo	0.513 a	0.503 a

* Las medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia significativa.

No se detectaron diferencias estadísticas en el índice de cosecha según el sistema de riego. Si bien hubo

una diferencia significativa en rendimiento a nivel de taipa a favor del sistema continuo, también hubo una mayor acumulación de biomasa, por lo que este resultado en el índice de cosecha sería esperable.

4.3.3 Calidad industrial de grano.

Para el análisis de calidad industrial de grano, se realizaron los análisis que comúnmente realiza la industria, y que a partir de estos se aplica los premios y castigos que especifica el decreto 321/988.

Cuadro N° 6: Parámetros de calidad industrial para cuadro y taipa de cada sistema de riego.

Para el Cuadro

	Cargo	Verde	Blanco Total	Entero	Mancha	Yesado
Sist Inter	78.12 a	1.03 a	70.54 a	54.44 a	0.114 a	7.39 a
Sist Cont	78.05 a	0.95 a	70.53 a	47.47 a	0.109 a	8.34 a
Pr>f	0,677	0,835	0,932	0,069	0,847	0,1

Para la Taipa

	Cargo	Verde	Blanco Total	Entero	Mancha	Yesado
Sist Inter	77.72 a	2.37 a	70.14 a	54.48 a	0.197 a	6.59 a
Sist Cont	77.92 a	3.31 a	70.24 a	53.18 a	0.156 a	7.29 a
Pr>f	0,35	0,404	0,517	0,684	0,103	0,108

* Las medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia significativa al 5%.

No existen diferencias significativas en los parámetros de calidad industrial, aunque existe tendencia a un menor porcentaje de entero en el cuadro del sistema de riego continuo. Esto puede ser causa de una diferencia en el largo de ciclo que no fue registrada.

Con estos parámetros de calidad industrial los castigos para la zona de cuadro son de 2.31% y 5.99% para el sistema de riego intermitente y continuo respectivamente, mientras que para la Taipa el castigo fue de 2.36% y 3.67% para riego intermitente y continuo respectivamente. Estos porcentajes de castigos no presentan diferencias significativas (según test de Tukey al 5%).

Si analizamos los rendimientos como sano, seco y limpio, las diferencias que se encontraron en el punto 4.3.2 (con el rendimiento seco y limpio) no sufren variaciones.

4.3.4 Distribución espacial del rendimiento

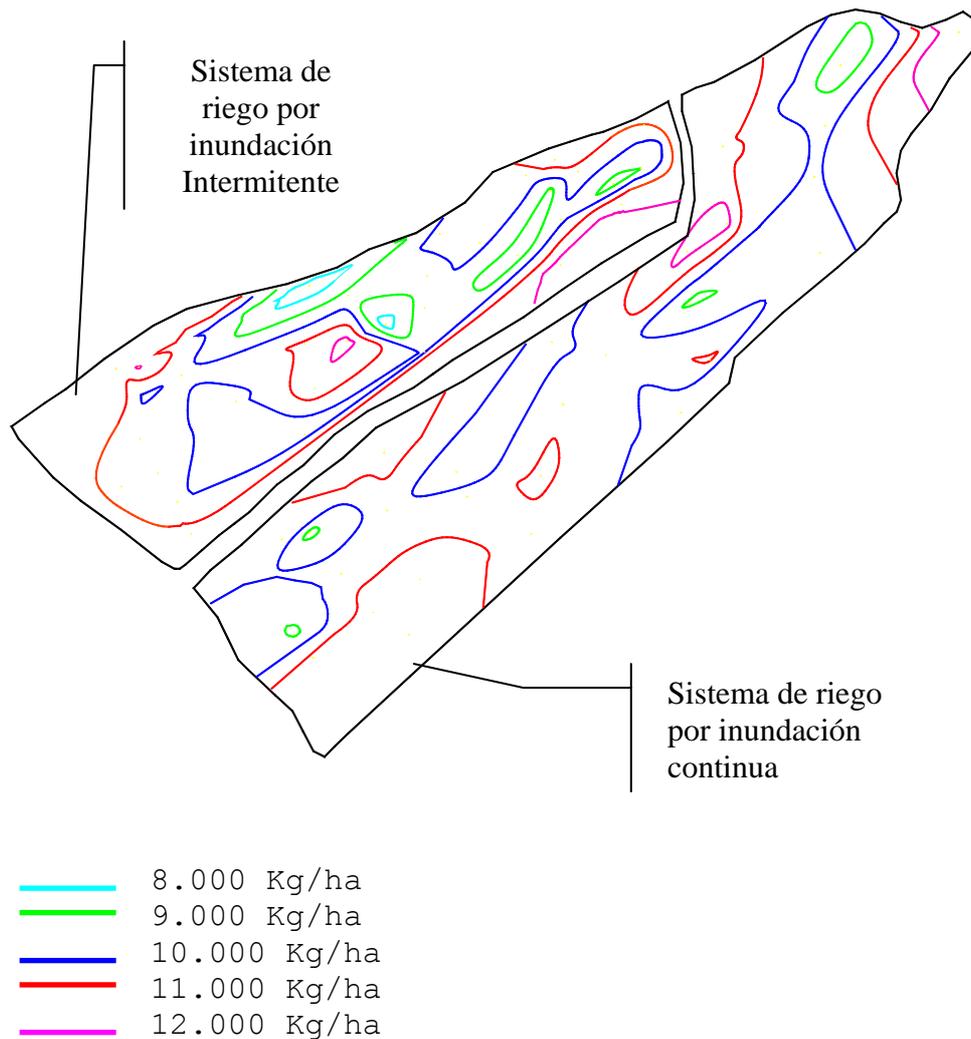


Figura N° 19: Mapa de rendimiento

Este mapa fue realizado en un programa de diseño asistido por computadora (AutoCad) mediante interpolación lineal entre los valores de rendimiento en grano de los sitios de muestreo.

En el sistema de riego intermitente la variabilidad espacial del rendimiento es mayor que en el tratamiento de riego continuo, a pesar de que este tenía un área

mayor y por ende sería esperable una mayor variabilidad. Esto se debe a que en el sistema de riego continuo la presencia de una lámina de agua (aprox 10cm) lograba regar mejor todo el cuadro cubriendo los defectos de nivelación y microrrelieve que son frecuentes en las chacras. Así, el sistema continuo logra una mayor uniformidad del riego y como consecuencia mayor uniformidad del rendimiento final. Esto se refleja en los Coeficientes de variación de cada población, donde el tratamiento intermitente presenta 13.3 % y el continuo 11.8 %, para el rendimiento de taipa, mientras que para la zona de cuadro 13.3 y 11.7 % para riego intermitente y continuo respectivamente.

4.3.5 Eficiencia de uso de agua

La eficiencia de uso de agua puede ser definida de varias maneras. Desde el punto de vista fisiológico la eficiencia puede ser vista como la cantidad de arroz producida por los m^3 de agua evapotranspirada. Esta eficiencia resulto en valores de 1.52 kg de grano/ m^3 y 1.47 kg de grano/ m^3 para los sistemas continuo e intermitente respectivamente. Esta diferencia de 3.3% a favor del sistema continuo esta dada en función de la variación en el rendimiento, ya que la evapotranspiración es igual en ambos sistemas.

Desde el punto de vista del riego la eficiencia en el uso de agua puede definirse como los Kg de arroz producidos por m^3 de agua recibido (riego + lluvias), en nuestro caso el valor de riego corresponde al valor de consumo de agua (gasto total - excesos). Esta eficiencia resulto en valores promedio de 0.872 y 0.789 Kg de grano por m^3 de agua para los sistemas intermitente (10,5% mayor) y continuo respectivamente. Roel (1999) para un promedio de 3 zafras con cv INIA Tacuarí reporto valores de eficiencia de uso de agua en inundación temprana (20 DPE) de 0.746 kg gran/ m^3 de agua.

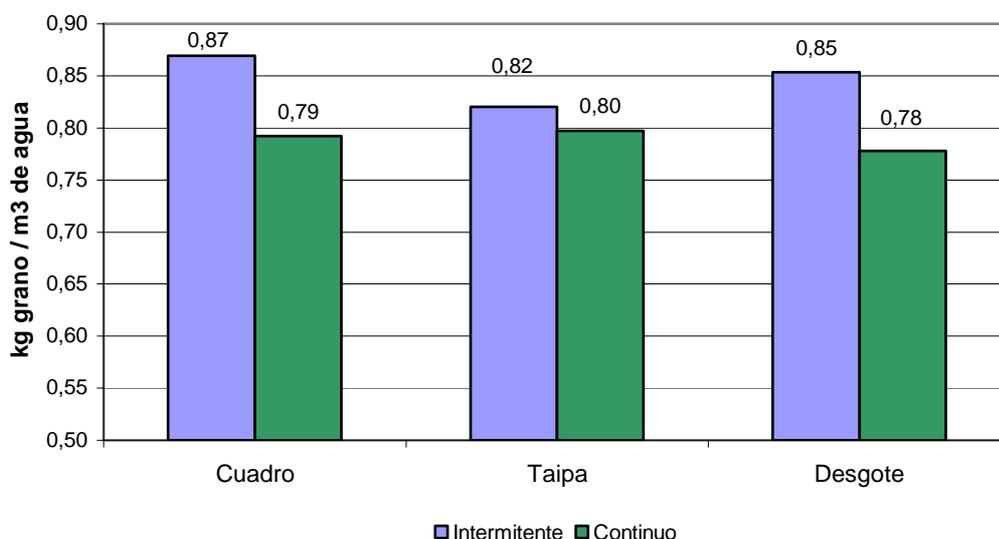


Figura N° 20: Relación de conversión grano / agua.

4.4 RESPUESTA AL NITROGENO

En este punto se analizara la respuesta al agregado de nitrógeno (N) para cada tratamiento de riego, en 2 momentos del ciclo de cultivo. El ensayo fue realizado sobre taipa y cuadro y los resultados del análisis estadístico se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 7: Respuesta a los tratamientos de N.

Cuadro

Tratamiento	Sistema de riego			
	Rendimiento kg/ha			
	Continuo	CV (%)	Intermitente	CV (%)
T0 53.5 UN	10366 a	13,9	10400 a	18,0
T1 76.5 UN	11773 a	16,4	9751 a	9,7
T2 99.5 UN	12280 a	15,4	11560 a	2,2

Taipa

Tratamiento	Sistema de riego			
	Rendimiento kg/ha			
	Continuo	CV (%)	Intermitente	CV (%)
T0 53.5 UN	13212 a	15,3	9839 a	13,0
T1 76.5 UN	12315 a	3,5	11568 a	5,3
T2 99.5 UN	12432 a	4,5	11215 a	5,5

Los rendimientos no tuvieron diferencias significativas, aunque en los tratamientos sobre cuadros se observa una tendencia a incrementar los rendimientos

en los tratamientos T2 en el sistema intermitente (23 UN en primordio + 23 UN en floración).

Seria esperable una respuesta a la aplicación de N sobre la taipa en el tratamiento de riego intermitente, ya que existen condiciones predisponentes a la pérdida de N por desnitrificación y volatilización debido a la alternancia de humedecimiento y secado.

En el ensayo esto no se dio debido a la capacidad del suelo de aportar N, este dato se corrobora con los altos valores de MO que tienen los suelos de 5.7% en promedio.

Cuadro N° 8: Contenido de Materia Orgánica en suelo para las macroparcels

	Macroparcels	
	Intermitente	Continuo
% de MO	5.73 a	5.67 a
CV	14.90%	15.06%
Pr>f	0.76	

Un punto a tener en cuenta es que el cv El Paso 144 no a presentado respuesta a N en cobertura en los ensayos realizados sobre suelos de Basalto en Tacuarembó y Artigas (Lavecchia et al., 2005), el mismo autor no encontró respuesta en la interacción riego*N mediante diferentes sistemas de riego (inundación temprana, tardía y riego intermitente), cuando las condiciones ambientales no incidieron en la obtención de altos rendimientos. Vale aclarar que el riego intermitente que implemento este investigador consistió en baños y drenaje hasta 15 días previos a la etapa de primordio, cuando se instalaba la inundación continua.

5. CONCLUSIONES

Basándose en los resultados obtenidos, y en las condiciones en que fue desarrollado este trabajo se puede concluir que:

- ▶ Para los tratamientos de riego las diferencias de rendimiento en grano se dan solamente en la zona de taipa, no encontrándose diferencias para el cuadro y para el desgote, este aspecto tendrá mayor o menor importancia en función al área de taipa de cada chacra.
- ▶ En el sistema de riego intermitente la variabilidad espacial del rendimiento es mayor que en el tratamiento de riego continuo, a pesar de que este tenía un área mayor y por ende sería esperable una mayor variabilidad.
- ▶ Asociado al punto anterior no hubo diferencias en los componentes de rendimiento excepto en el número de panojas/m² sobre la taipa, con valores más altos para el sistema continuo. Por ende esta fue la variable que deprimió el rendimiento en el tratamiento de riego intermitente.
- ▶ Para ambos tratamientos las etapas más importantes para definir el rendimiento fueron, final de macollaje, donde se definen tallos fértiles por m², y primordio donde se define el número máximo de granos por panoja. Estos son los estadios donde el cultivo fue más sensible a los déficit hídricos y esto resultó en las diferencias de rendimiento de los tratamientos.
- ▶ En el sistema intermitente la variable que mayor efecto tuvo a la hora de determinar el rendimiento fueron las panojas/m², lo que indica como se mencionó anteriormente que durante la etapa final de macollaje este tratamiento produjo un estrés hídrico sobre las plantas que se desarrollaron sobre el lomo de la taipa, resultando en menos tallos fértiles por m². Y este componente del rendimiento no pudo ser compensado por los demás.
- ▶ No se encontraron diferencias significativas en los parámetros de calidad industrial de los tratamientos de riego.

- ▶ La acumulación de MS fue diferente estadísticamente al macollaje (40 DDE) y a la cosecha (156 DDE) entre ambos sistemas de riego, mientras que en primordio y floración no hubo diferencia, sin embargo, esta diferencia en biomasa final no reporto cambios en el índice de cosecha el que fue igual para ambos sistemas.
- ▶ Aunque no se puede afirmar estadísticamente que un sistema de riego gasta mas agua que otro, mediante el registro de agua que se realizó para tener una aproximación del gasto, se observó, que el sistema de riego intermitente utilizo 1350 m³/ha menos que el sistema continuo lo que significa un 12% de reducción del gasto, pero este análisis no es suficiente como para utilizar este dato como referencia.
- ▶ De igual manera que para el punto anterior la eficiencia fisiológica de uso de agua resulto en valores de 1.52 kg de grano/m³ y 1.47 kg de grano/m³ para los sistemas continuo e intermitente respectivamente con una diferencia a favor del sistema continuo de 3.3%. Mientras que la eficiencia de uso de agua desde el punto de vista del riego fue de 0.872 y 0.789 Kg de grano por m³ de agua para el sistema intermitente (10.5 % mayor) y continuo respectivamente.
- ▶ No se encontró respuesta en rendimiento a nivel de taipa ni en cuadro a la aplicación de N en ninguno de los tratamientos de riego.

Estos resultados no son extrapolables a otras condiciones de cultivo o ambiente ya que para esto serian necesarios mas años de evaluación. Además seria necesario evaluar este sistema de riego en otras condiciones ambientales de suelo, topografía, etc.

6. RESUMEN

Históricamente el desarrollo del cultivo de arroz en Uruguay se ha situado en la Zona Este debido a sus características topográficas y a la disponibilidad de agua. En los últimos 15 años la superficie de explotación arroceras se ha expandido hacia zonas del Norte y Centro del país, donde las fuentes de agua no son tan abundantes y las características de los suelos implican un mayor gasto de agua, por lo tanto la limitante para la expansión del cultivo en estas nuevas zonas es el agua. Las técnicas de riego que implican ahorro de agua corren el riesgo de reducción de rendimiento debido a posibles estreses por falta de agua en el cultivo. Por consiguiente las relaciones entre los sistemas de riego y el rendimiento de arroz deben ser establecidas para nuestras condiciones de producción. Por tal motivo, los objetivos planteados en el presente trabajo son evaluar el rendimiento en el cultivo de arroz cv El Paso 144 mediante dos sistemas de riego, inundación intermitente e inundación continua y evaluar la respuesta a la fertilización nitrogenada en los dos sistemas de riego. Los tratamientos consistieron en dos macroparcelas, donde se evaluó el rendimiento y se aplicaron los sistemas de riego mencionados. Para el estudio de la respuesta a N se instalaron ensayos parcelarios dentro de cada tratamiento de riego. Se registró el gasto de agua de ambos tratamientos aunque no con el objetivo de detectar diferencias estadísticas sino de tener una aproximación del gasto de agua. Se monitoreó el cultivo mediante muestreos de materia seca a diferentes estados de desarrollo y se analizó el contenido de N y P en planta. Para el rendimiento se cosechó sobre el lomo de taipa, desgote y cuadro por separado para detectar diferencias ocasionadas por el sistema de riego. Se analizó estadísticamente los diferentes componentes de rendimiento así como también el índice de cosecha. Para el análisis de calidad industrial de grano, se realizaron los análisis que comúnmente realiza la industria. Se observó que el sistema por inundación intermitente utilizó 1350 m³/ha de agua menos que el sistema por inundación continua lo que representa un 12% del gasto. Los valores de eficiencia fisiológica de uso de agua mostraron una diferencia a favor del sistema continuo de 3.3%, mientras que la eficiencia de uso de agua desde el punto de vista del riego fue 10.5% mayor para el sistema intermitente. No se encontró respuesta en rendimiento a

nivel de taipa ni en cuadro a la aplicación de N en ninguno de los tratamientos de riego. Para los tratamientos de riego las diferencias de rendimiento en grano se dan solamente en la zona de taipa. No hubo diferencias en los componentes de rendimiento excepto en el número de panojas/m² sobre la taipa, con valores más altos para el sistema continuo. No se encontraron diferencias significativas en los parámetros de calidad industrial de los tratamientos de riego. La acumulación de MS fue diferente estadísticamente al macollaje y a la cosecha entre ambos sistemas de riego, mientras que en primordio y floración no hubo diferencia

Palabras clave: Arroz, rendimiento, sistemas de riego, técnicas de ahorro de agua, consumo de agua.

7. SUMMARY

Traditionally irrigated rice crops in Uruguay have been situated in the East zone because of topographical characteristics and water available. In the last 15 years the rice growings have been expanded to the North and centre of the country, where the water sources are not so abundant and the soil characteristics imply a greatest consumption of water, therefore, the limitant in the rice crop expansion in this zones is water. The water-saving irrigation techniques have risk of yield reduction by water stress in rice crop. In orther that, the relations between rice yield and irrigation systems must be establish into our conditions. The objectives of this research are, the evaluation of rice yield on cv. El Paso 144 by two irrigation systems (intermittent and continuously inundation), and nitrogen response in both irrigation systems. The treatments involved in two plot of land where yield was evaluated, and the mentioned irrigated systems were applied. To study N response were installed experimental plots inside irrigation treatments. Consumption of water was measured in both treatments, with the objective to get an approximation of water use, but not to detect statistics differences. Crop was monitored by dry matter samples at different development stages and the N-P plant content was analyzed. To obtain yield dates 60 plots were harvested in both irrigation treatments. Yield components and harvest index were statistically analyzed. Grain industrial quality was analyzed by standard analysis. Intermittent inundation system get 1350 m³/ha less of water than continuously inundation system, what means 12% of water consumption. Physiological efficiency of water use showed higher values (3.3%) in continuously inundation system, while irrigation water use efficiency was 10.5% higher in intermittent inundation system. The N response was not significant in irrigation treatments. Irrigation treatments yield only showed differences at field bunds zone. There was no difference at yield components except panicle/m² on field bunds, with higher values on continuously system. There was no significant difference about quality parameters in irrigation treatments. Dry matter levels was statistical different at tillering and harvest between irrigation systems, while, at panicle initiation and flowering there was no difference.

Keywords: rice, yield, irrigation systems, consumption of water.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. ATANASIU, N.; SAMY, J. 1985. Arroz; uso eficaz de los fertilizantes. Zurich, Centro de Estudios de Nitrógeno (CEA). 100 p.
2. BELDER, P.; BOUMAN, B.A.M.; CABANGON, R.; GUOAN, L.; QUILANG, E.; LI, Y.; SPIERTZ, J.; TUONG, T.P. 2004. Effect of water-saving irrigation on rice yield and water use in typical lowland condition in Asia. *Agricultural Water Management*. 65: 193-210.
3. _____.; SPIERTZ, J.H.J.; BOUMAN B.A.M.; LU, G.; TUONG, T.P. 2005. Nitrogen economy and water productivity of lowland rice under water-saving irrigation. *Field Crop Reserch*. 93: 163-185.
4. BHUIYAN, S.I.; SATTAR, M.A.; KHAN, M.A.K. 1995a. Improving water use in rice irrigation through wet-seeding. *Irrigation Science*. 16: 1-8.
5. _____.; _____.; TABBAL, D.F. 1995b. Wet seeded rice; water use efficiency, productivity, and constraints to wider adoption. In: Constraints, opportunities, and innovations for wet seeded rice. Moody, K. ed. Los Baños, Philippines, IRRI. pp. 143-155.
6. BLANCO, F.; MENDEZ, R. 1986. Época de drenaje y cosecha en el cultivo de arroz. *Revista Arroz*. 14: 24-36.
7. _____. 1988. Riego. In: Arroz; resultados experimentales. Treinta y Tres, CIAAB. p. irr. (Publicación no. 21).
8. _____.; ROEL, A. 1993. Riego. In: Arroz; resultados experimentales 1993-1993. Treinta y Tres, INIA. p. irr. (Actividades de Difusión no. 25)
9. _____.; _____. 1994. Riego. In: Arroz; resultados experimentales 1993-1994. Treinta y Tres, INIA. p. irr. (Actividades de Difusión no. 28)

10. _____.; _____. 1995. Riego. In: Arroz; resultados experimentales 1994-1995. Treinta y Tres, INIA. p. irr. (Actividades de Difusión no. 62)
11. BOUMAN B.A.M., TUONG T.P. 2000. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. Agricultural Water Management. 1615: 1-20.
12. CABANGON, R.; TUONG, T.; CASTILLO, E.; BAO, L.; LU, G.; WANG, G.; CUI, Y.; BOUMAN, B.A.M.; LI, Y.; CHEN, C.; WANG, J. 2004a. Effect of irrigation method and N-fertilizer management on rice yield, water productivity and nutrient-use efficiencies in typical lowland rice conditions in China. Paddy Water Environ. 2: 195-206.
13. _____.; _____.; _____.; _____.; _____.; _____.; _____.; _____.; _____.; _____.; _____. 2004b. Effect of irrigation method and N-fertilizer management on rice yield, water productivity and nutrient use efficiencies in typical lowland rice conditions in China. Zhanghe, s.e. 54 p.
14. CHEBATAROFF, N.; PIRIZ, M. 1990. Efectos de las bajas temperaturas en los niveles de esterilidad en Blubelle. In: Curso FAO/Uruguay sobre Uso de Germoplasma y Tecnologías de Semillas de Arroz y Soja (1990, Treinta y Tres). Resultados de 1987-88 y 1988-89. Treinta y Tres, INIA. pp. 1-6.
15. CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO. (4º., 2005, Santa Maria, RS). 2005. Arroz Irrigado; recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil. Santa Maria, RS, Pallotti. 159 p.
16. DEDATTA, S.K.; ABILAY, W.P.; KALWAR, G.N. 1973. Water stress effects in flooded tropical rice. In: Water management in philippine irrigation systems; research and operations. Los Baños, Laguna, Philippines, IRRI. pp. 312-378.
17. _____.; LEVINE, G.; WILLIAMS, A. 1975. Manejo

- del agua y necesidades del riego del arroz. In: Cultivo del Arroz; manual de producción. Universidad de Filipinas. Escuela de Agricultura. Mexico, Limusa. pp. 121-135.
18. _____. 1981. Principles and practices of rice production. New York, Wiley. 618 p.
 19. DURAN, A. 2001. Propiedades hídricas de los suelos. Montevideo, Facultad de Agronomía. 119 p.
 20. DURAN, P.; GARCIA, M.; PUPPO, L.; CHAMORRO, A.; HAYASHY, R. 2001. Curso de riego y drenaje. Montevideo, Facultad de Agronomía. 290 p.
 21. FERRANDO, M.; MERCADO, G.; HERNÁNDEZ, J. 2002. Dinámica del hierro y disponibilidad de fósforo durante períodos cortos de anaerobiosis en los suelos. Agrociencia 6: 1-9.
 22. GAMARRA, G. 1996. Arroz; manual de producción. Montevideo, Hemisferio Sur. 440 p.
 23. GARCIA, C. 2005. Requerimientos hídricos del cultivo de arroz. In: Arroz; resultados experimentales 2004-2005. Tacuarembó, INIA. p. irr. (Actividades de Difusión no. 421)
 24. GARCIA RICCI, A. 1982. Manejo del agua y producción de arroz. Revista Arroz. 1: 18-23.
 25. LAVECCHIA, A.; MARCHESI, C.; MENDEZ, J. 2005. Manejo del momento de inundación, fertilización nitrogenada. In: Arroz; resultados experimentales 2004-2005. Tacuarembó, INIA. p. irr. (Actividades de Difusión no. 421)
 26. LI, Y.; BARKER, R. 2004. Increasing water productivity for paddy irrigation in China. Paddy Water Environ. 2: 187-193.
 27. ROEL, A.; HEILMAN, J.; McCAULEY, G. 1996. Dos manejos de riego en arroz; "Pin-Point" y baño-inundación. Treinta y Tres, INIA. 14 p. (Serie Técnica no. 81)

28. _____.; LAVECCHIA, A.; MENDEZ, J. 1998a. Consumo de agua en chacra de productores. In: Arroz; resultados experimentales 1997-1998. Treinta y Tres, INIA. p. irr. (Actividades de Difusión no. 171)
29. _____. 1998b. Retiros de agua y momentos de cosecha en tres cultivares de arroz. In: Arroz; resultados experimentales 1997-1998. Treinta y Tres, INIA. p. irr. (Actividades de Difusión no. 171)
30. _____. 1999. Riego en arroz; manejo eficiente de la inundación. Treinta y Tres, INIA. 15 p. (Boletín de Divulgación no. 67)
31. _____.2004. Comportamiento de la temperatura del agua y del canopio con diferentes alturas de láminas de riego. In: Arroz; resultados experimentales 2003-2004. Treinta y Tres, INIA. p. irr. (Actividades de Difusión no. 375)
32. SHARMA, P.K., 1989. Effect of periodic moisture stress on water-use efficiency in wetland rice. *Oryza*. 26: 252-257.
33. STANSEL, J. 1975a. Effective utilization of sunlight. In: Six decades on rice reserch in Texas. Texas, Texas A&M University System. pp. 43-50.
34. _____. 1975b. The rice plant - its development and yield. In: Six decades on rice reserch in Texas. Texas, Texas A&M University System. p 9-21.
35. TOESCHER, C.; RIGHES, A.; CARLESSO, R. 1997. Volumen de agua aplicada e produtividade do arroz sobre diferentes metodos de irrigação. Revista Facultad de Zootecnia Veterinaria Agronomía de Uruguaiana. 4 (1): 75-79.
36. TUONG, T.P.; BOUMAN, B.A.M.; MORTIMER, M. 2005. More rice, less water-integrated approaches for increasing water productivity in irrigated rice-based systems in Asia. *Plant Production Science*. 8: 231-241.

37. URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERÍA AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN DE SUELOS Y FERTILIZANTES. 1979. Carta de reconocimiento de suelos. Montevideo. t.3, 452 p.
38. WOPEREIS, M.C.S. 1993. Quantifying the impact of soil and climatic variability on rainfed rice production. Ph.D. Thesis, Wageningen, The Netherlands. Agricultural University. 188 p.
39. _____.; BOUMAN, B.A.M.; TUONG, T.P.; TEN BERGE, H.F.M.; KROPFF, M.J. 1996. ORYZA_W; rice growth model for irrigated and rain fed environments. Wageningen, The Netherlands, IRRI/ABDLO. 159 p. (SARP Research Proceedings)