

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

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

por

JUAN PABLO HENDERSON  
AUGUSTO GUSSONI  
JUAN CARLOS MOOR

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

MONTEVIDEO  
URUGUAY

2008

Tesis aprobada por:

Director:

-----  
Ing. Agr. MSc. Andrés Lavecchia

-----  
Ing. Agr. Oswaldo Ernst

-----  
Ing. Agr. MSc, PhD. Álvaro Roel

Fecha:

Autor:

-----  
Juan Pablo Henderson

-----  
Augusto Gussoni

-----  
Juan Carlos Moor

## AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento al Ing. Agr.,<sup>II</sup> M.Sc. Andrés Lavecchia director de tesis, de INIA Tacuarembó por el tiempo dedicado y la orientación brindada así como también a su equipo técnico y personal de campo.

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

A los Ing. Agr. Juan Carneli y Claudio García por su constante apoyo durante la realización de la tesis.

A los Ing. Agr. Oswaldo Ernst y Luís Giménez de Facultad de Agronomía.

Agradecer a nuestras familias y amigos por su apoyo constante durante toda la realización de este trabajo al igual que lo hicieron durante toda la carrera para todos ellos muchas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

Pág III

PAGINA DE APROBACION	I
AGRADECIMIENTOS	II
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES	V
1. <u>INTRODUCCION</u>	
1.1 OBJETIVOS	
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	4
2.1 CONCEPTO DE RIEGO	4
2.2 CARACTERÍSTICAS DEL RIEGO EN URUGUAY	
2.2.1 <u>Necesidades de agua del cultivo</u>	5
2.2.2 <u>Momento de inundación</u>	6
2.2.3 <u>Altura de lámina de agua</u>	8
2.2.4 <u>Momento de finalización de riego</u>	10
2.3 COMPONENTES DEL GASTO DE AGUA	10
2.4 CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS INUNDADOS	10
2.4.1 <u>Cambios físicos</u>	11
2.4.2 <u>Cambios físico - químicos</u>	11
2.4.3 <u>Dinámica del nitrógeno en suelos Inundados</u>	11
2.4.4 <u>Fósforo en suelos inundados</u>	11
2.4.5 <u>Potasio en suelos inundados</u>	20
2.5 ANALISIS DE LOS SISTEMAS DE RIEGO MÁS UTILIZADOS	20
2.5.1 <u>Riego de inundación continua</u>	20
2.5.2 <u>Sistema de riego "Pin-Point"</u>	21
2.5.3 <u>Sistema de riego intermitente</u>	21
2.5.3.1 Efecto del riego intermitente sobre manejo del Nitrógeno	25
2.6 EFECTO DEL ESTRÉS HIDRICO EN EL CULTIVO DE ARROZ	21
3. <u>MATERIALES Y METODOS</u>	30
3.1 LOCALIZACION	30
3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL	30
3.2.1 <u>Análisis estadístico</u>	30
3.2.1.1 Análisis de los sistemas de riego	30

3.2.1.2	Para el análisis de rendimiento y sus componentes	32
3.2.1.3	Para el análisis de materia seca	33
3.2.1.4	Para el análisis del índice de cosecha	33
3.2.2	<u>Tratamientos de riego</u>	34
3.2.3	<u>Tratamientos de nitrógeno</u>	35
3.3	MANEJO DE CULTIVO	36
3.4	MEDICIONES EFECTUADAS	37
3.4.1	<u>Mediciones en el cultivo</u>	37
3.4.2	<u>Mediciones posteriores a la cosecha</u>	36
4.	<u>RESULTADOS Y DISCUSION</u>	39
4.1	<u>REGISTRO CLIMÁTICO ZAFRA 06-07</u>	39
4.1.1	Temperatura	40
4.1.2	Precipitaciones	41
4.1.3	Evapotranspiración	42
4.1.4	Heliofanía relativa	44
	45	46
4.2	GASTO DE AGUA Y COMPONENTES DEL RIEGO	47
	45	47
4.3	RESULTADOS EN EL CULTIVO	
4.3.1	<u>Crecimiento del cultivo</u>	47
4.3.2	<u>Rendimiento en grano</u>	49
	48	52
	4.3.2.1 Componentes de rendimiento	
4.3.3	<u>Índice de cosecha</u>	52
4.4	EFICIENCIA DE USO DE AGUA	54
4.5	RESPUESTA AL NITROGENO	55
5.	<u>CONCLUSIONES</u>	58
6.	<u>RESUMEN</u>	59
7.	<u>SUMMARY</u>	61
8.	<u>BIBLIOGRAFIA</u>	63

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página	
1.	Gastos de agua en Chacras comerciales zafra 97-98 según zonas del país y Suelos	11
2.	Estimación de gastos de agua en 100 días de riego	15
3.	Propiedades físicas y químicas del suelo	30
4.	4. Etc según fase de cultivo	44
5.	5. Valores Índice de Cosecha	54
6.	6. Eficiencia de Uso del Agua	55
7.	Rendimiento en función de la fertilización a la siembra, sistema de riego y ubicación	56
8.	Rendimiento en función de la fertilización en las etapas de macollo y primordio teniendo en cuenta el sistema de riego y la ubicación de muestreo	56
Figura No.		
1.	Consumo de agua a diferentes profundidades	8
2.	Perdidas de agua en el suelo	15
3.	Capas en un suelo inundado	16
4.	Modificación de pH de dos suelos inundados	18
5.	Esquema de Parcelas	31
6.	Distribución de los diferentes tratamientos dentro de los Bloques	35
7.	Temperaturas media, máxima y mínima de la zafra 06-07 en comparación con los registros históricos (INIA Salto Grande 90-05)	40
8.	Registro de Precipitaciones durante la zafra 06-07 y su comparación con los valores históricos de dicho periodo (INIA Salto Grande 90-05)	41
9.	Evapotranspiración diaria "El Junco" 06-07 y su comparación con los valores Históricos (INIA Salto Grande 90-05)	43
10.	Heliofania periodo Diciembre - Abril 06/07	44
11.	Datos de Agua según el sistema de Riego utilizado	46
12.	Caudales promedio de utilizados durante el riego en las diferentes etapas del fenológicas del cultivo	47

13. Producción de Materia Seca en Kg/ha en diferentes momentos del Cultivo	48
14. Rendimiento en gran seco y limpio en base al tratamiento de Riego	49
15. Rendimiento en base al efecto ubicación	50
16. Rendimiento en base a tipo de riego y ubicación de muestreo	50
17. Rendimiento en base a tipo de riego, ubicación de muestreo y fertilización a la siembra	51
18. Componentes de Rendimiento para Cuadro	52
19. Componentes de Rendimiento para Taipa	53



## 1 INTRODUCCION

El arroz es uno de los cultivos más producido y consumido en el mundo, cultivado en 150 millones de hectáreas con una producción de 600 millones de toneladas.

Uruguay tiene en este cultivo uno de sus principales generadores de divisas, presentando el mismo un gran dinamismo e importancia económica, al punto que se ha constituido en el tercer rubro de exportación. Un claro ejemplo de esto fueron las 184 mil hectáreas sembradas del cultivo en la zafra 2004/05 con una producción que se situó en el orden de 1.21 millones de toneladas, con un promedio de 6.600 Kg/ha sembrada.

Posee una excelente reputación a nivel internacional como país productor y exportador de arroz. Esto se ha logrado, fundamentalmente, en base a la calidad del producto y de los procesos: en efecto, los controles aplicados a la producción de la semilla, el uso de tecnología de última generación para los procesos de siembra, cosecha, secado y de molinería, y los cuidados relativos al transporte y comercialización, han sido la causa principal para el actual posicionamiento en el mercado internacional.

En el Uruguay históricamente el desarrollo de este cultivo se ubico sobre la zona Este debido a sus características topográficas, suelos planos en márgenes de arroyos, ríos o lagunas, contando con importante disponibilidad de agua.

Hoy en día la situación es muy diferente, dado los cambios ocurridos en los últimos 15 años, ya que el cultivo se ha expandido hacia nuevas regiones principalmente zona Norte y centro del país dándole un carácter más nacional que regional a la producción de arroz.

## 8. BIBLIOGRAFIA

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 Manangement. 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. BLANCO, F.; MENDEZ, R. 1986. Época de drenaje y cosecha en el cultivo de arroz. Revista Arroz. 14: 24-36.
5. \_\_\_\_\_. 1988. Riego. In: Resultados experimentales. Treinta y Tres, CIAAB. pp. 8-12 (CIAAB no.21).
6. \_\_\_\_\_.; ROEL, A. 1993. Riego. In: INIA Treinta y Tres. Estación Experimental del Este. Arroz; resultados experimentales 1992-1993. Montevideo, Uruguay, INIA. pp. 8-25.
7. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 1994. Riego. In: INIA Treinta y Tres Estación. Experimental del Este. Arroz; resultados experimentales 1993-1994. Montevideo, Uruguay, INIA. pp. 8-25.



14. CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO (4°. , 2005, Santa Maria, RS). 2005. Arroz irrigado; recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Santa Maria, RS, Pallotti. 159 p.
  
15. 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. s.n.t. pp. 1-6.
  
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, Philippines, IRRI. pp. 312-378.
  
17. \_\_\_\_\_.; LEVINE, G.; WILLIAMS, A. 1975. Manejo del agua y necesidades del riego del arroz. In: Escuela de Agricultura de la Universidad de Filipinas e IRRI. Cultivo del arroz; manual de producción. Mexico, Limusa. pp. 121-135.
  
18. \_\_\_\_\_. 1981. Principles and practices of rice production. New York, Wiley. 618 p.
  
19. DURAN, P.; GARCIA, M.; PUPPO, L.; CHAMORRO, A.; HAYASHY, R. 2001. Curso de riego y drenaje. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 290 p.

20. DURAN, A. 2001. Propiedades hídricas de los suelos. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 119 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, Uruguay, Hemisferio Sur. 440 p.
23. GARCIA, C. 2005. Requerimientos hídricos del cultivo de Arroz. In: INIA Tacuarembó. Arroz; resultados experimentales 2005-2006. Montevideo, Uruguay, INIA. pp. 2 - 32.
24. GARCIA RICCI, A. 1982. Manejo del agua y producción de arroz. *Revista Arroz*. 1: 18-23.
25. LAVECCHIA, A.; MARCHESI, C.; MÉNDEZ, J. 1995. Manejo del momento de inundación, fertilización nitrogenada. In: INIA Tacuarembó. Arroz; resultados experimentales 2005-2006 Montevideo, Uruguay, INIA. pp. 2 - 23.
26. LI, Y.; BARKER, R. 2004. Increasing water productivity for paddy irrigation in China. *Paddy Water Environment*. 2: 187-193.
27. ROEL, A.; HEILMAN, J.; McCAULEY, G. 1996. Dos Manejos de riego en arroz; "Pin-Point" y Baño-Inundación. Montevideo, INIA. 14 p. (Serie Técnica no. 81).

28. \_\_\_\_\_.; LAVECCHIA, A.; MENDEZ, J. 1998a. Consumo de agua en chacra de productores. In: INIA Treinta y Tres. Arroz; resultados experimentales 1997-1998 Montevideo, Uruguay, INIA. pp. 12 - 31.
29. \_\_\_\_\_. 1998b. Retiros de agua y momentos de cosecha en tres cultivares de arroz. In: INIA Treinta y Tres. Arroz; resultados experimentales 1997-1998. Montevideo, Uruguay, INIA. pp. 1 - 14.
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: INIA Treinta y Tres. Arroz; resultados experimentales 2003-2004. Montevideo, Uruguay, INIA. pp. 1 - 23.
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: The Texas Agricultural Experiment Station. Six decades on rice reserch in Texas. s.l., The Texas A&M University System. pp. 43-50.

34. \_\_\_\_\_. 1975b. The rice plant - its development and yield. In: The Texas Agricultural Experiment Station. Six decades on rice reserch in Texas. s.l., The Texas A&M University System. pp. 9-21.
35. SWAIN, D. K.; HERATH, S.; BHASKAR, B.C.; KRISHNAN, P.; RAO, K. S.; NAYAK, S. K.; DASH, R. N. 2007. Developing ORYZA 1N for medium- and long-duration rice; variety selection under nonwaterstress conditions. (en línea). Agronomy Journal. 99 (2): 428-440. Consultado 18 ago. 2008  
Disponble en  
<http://agron.sciijournals.org/cgi/reprint/99/2/428>
36. TOESCHER, C.; RIGHES, A.; CARLESSO, R. 1997. Volume de agua aplicada e produtividade do arroz sob diferentes metodos de irrigação. Revista Facultad de Zootecnia Veterinaria Agronomia de Uruguaiana. 4(1): 75-79.
37. 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.
38. URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERÍA AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN DE SUELOS Y FERTILIZANTES. 1979. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay; clasificación de suelos. t. 3, 452 p.
39. WOPEREIS, M.C.S. 1993. Quantifying the impact of soil and climatic variability on rainfed rice production. Ph.D. thesis. Wagening, The Netherlands. Wageningen Agricultural University. 188 p.

Otra modificación que ha sufrido el rubro es la intensificación de su producción acortando la rotación e incrementando en forma consistente la presión sobre el recurso hídrico.

Dichas regiones presentan una limitante ya que las fuentes de agua no son tan abundantes y las características de los suelos implican un mayor gasto de agua, muchos de estos son laderas naturalmente bien drenadas. El agua es por lo tanto, una limitante para la expansión del arroz y cada vez con mayor frecuencia se observan situaciones de escasez las cuales comprometen seriamente la productividad del cultivo.

Esta limitante implica que los productores arroceros de estas regiones deben ser muy eficientes en el uso de este recurso. El costo del riego es muy significativo dentro de los costos totales del cultivo, ya que actualmente este representa entre un 20% y un 25%, y dada las características del mismo y la dependencia que presenta con ciertos insumos como energía eléctrica y gasoil, la tendencia que presenta este costo es que continuara incrementándose, por lo tanto todo aporte que contribuya a hacer un uso eficiente del riego tendrá un impacto significativo en la rentabilidad del rubro.

Diversos estudios internacionales centraron el problema analizando una serie de métodos de riego, que contribuyan con el aumento en la eficiencia de riego, tratando de aumentar la productividad de la misma, básicamente producir más Kg de arroz con la misma o mejor aun con menor cantidad de agua.

En nuestro país el sistema de riego que predomina es el riego continuo con inundación permanente que va desde 30 días pos emergencia hasta aproximadamente 20 días pre cosecha, con un periodo de riego de 90 a 100 días dependiendo del largo de ciclo del cultivar utilizado.

El sistema de riego que se evalúa en el siguiente trabajo corresponde a uno de tipo intermitente, este sistema implica un riego por baños con el fin de mantener el suelo en condiciones de saturación; las características de este riego en cuanto a inicio y fin del mismo no varían del sistema continuo utilizado tradicionalmente.

### 1.1 OBJETIVOS

El objetivo del ensayo es evaluar la eficiencia de uso de agua y de nitrógeno, en el cultivo de arroz bajo dos sistemas de manejo del agua.

Esto se podría desglosar en los siguientes puntos:

1. Evaluar el rendimiento en el cultivo de arroz cv El Paso 144 mediante dos sistemas de riego, intermitente y continuo.

2. Evaluar la respuesta a la fertilización nitrogenada en los dos sistemas de riego.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CONCEPTO DE RIEGO

El riego agrícola puede definirse como la técnica o práctica de producción; *"Es la aplicación oportuna y uniforme de agua a un perfil del suelo, para reponer en este, el agua consumida por los cultivos entre dos riegos consecutivos"* (Gourrobuich, 1999).

De esta definición surgen conceptos importantes que vale la pena mencionarlos;

- ▶ Debe regarse el suelo y no la planta. Ósea se repone el agua extraída por las plantas.

- ▶ Se hace mención al riego en un perfil y no en la superficie del suelo. Acumular el agua en donde se concentra la mayor cantidad de raíces.

- ▶ Riego eficiente es aquel que riega uniformemente el perfil de suelo (en toda la zona regada) y no uniformemente la superficie del suelo.

- ▶ Oportuna; para que las plantas no sean sometidas a periodos largos sin agua o en excesos a causa del riego muy frecuente.

- ▶ También se hace referencia a la cantidad de agua que se aplica (Reposición). Esta cantidad depende de las condiciones ambientales, pues genera diferencias de gradientes ( $\Psi$ ) entre el agua de la planta-suelo (por un lado) y el vapor de la atmósfera (por otro).

### 2.2 CARACTERÍSTICAS DEL RIEGO EN URUGUAY

El arroz es un cultivo que en nuestro país se desarrolla exclusivamente bajo riego, en lo que refiere al manejo del agua es fundamental contar con una fuente de agua suficiente y de fácil acceso que permita satisfacer las necesidades del cultivo. Para esto resulta relevante la estructuración de la chacra entiéndase por esto la construcción de taipas, caminos, canales y drenajes que faciliten tanto la llegada como la salida del agua a la chacra.

Tradicionalmente el cultivo de arroz en el Uruguay se realizaba en base a la construcción de taipas, construidas con un intervalo vertical que oscila entre 5 y 12 cm según pendiente del terreno, el riego se realizaba llevando el agua cuadro a cuadro por desnivel.

En la actualidad los sistemas se han modernizado y la conducción del agua se realiza por canales primarios y secundarios que sirven tanto para poner el agua en el cuadro como para sacarla. Estos canales secundarios no siempre están contruidos con pendientes no erosivas.

#### 2.2.1 Necesidades de agua del cultivo

El manejo del agua es relevante tanto para el crecimiento como para el desarrollo del cultivo de arroz, además influye en la disponibilidad y absorción de nutrientes, así como en la prevención de incidencia de bajas temperaturas, plagas y malezas en el cultivo.

Uno de los aspectos básicos a tener en cuenta para la realización del riego es el desarrollo del cultivo, básicamente este presenta ciertos momentos en el cual se vuelve más exigente, siendo estos: establecimiento del cultivo, periodo de macollaje y la etapa que abarca entre diferenciación de la panícula y llenado de granos. Una deficiencia de agua en alguno de estos periodos trae como consecuencia daños en el cultivo y posterior merma de rendimientos.

Según Roel (1999) la cantidad de agua requerida por el cultivo se estima en  $15000\text{m}^3/\text{ha}$ , y esta se compone de la siguiente forma: agua requerida para saturar el suelo, establecer una lamina y reponer las pérdidas producidas por evapotranspiración, infiltración o percolación, escurrimiento superficial así como las producidas en los canales de riego.

Esta estimación es muy variable dependiendo de múltiples factores como: el tipo de suelo, manejo del agua de riego y condiciones climáticas principalmente precipitaciones durante el periodo de riego, ya que el agua que recibe el cultivo tiene dos procedencias, la aportada por el sistema de riego y el aporte de las lluvias mencionadas. Debido a que estas si bien son importantes, en nuestro país se caracterizan por ser muy irregulares por lo que el riego adquiere una vital importancia.

El método de riego más utilizado en nuestro país se caracteriza por ser de inundación continua manteniendo permanentemente una lámina de agua de profundidad variable en superficie.

#### 2.2.2 Momento de inundación

Nuestro país se caracteriza por realizar siembras sobre suelo seco para luego inundar el cultivo entre 35 y 45 días post emergencia, existe la posibilidad de realizar baños para promover la emergencia, esta práctica se realiza cuando el contenido de humedad en el suelo es tal que puede afectar la misma. Dependiendo del momento en el que se va a comenzar el riego y las precipitaciones existentes en el periodo comprendido entre 1er baño/comienzo de riego, cabe la posibilidad de realizar otro baño para promover el crecimiento del cultivo.

El momento de comienzo de riego tiene una particular importancia pues no solo afecta el crecimiento y desarrollo del cultivo sino que además modifica el consumo total de agua por parte de este, ya que de existir la posibilidad de realizar baños previos al comienzo de riego el consumo total de agua se eleva de forma significativa, Roel (1999).

Ejemplo claro de esto es el estudio realizado por Roel (1999) quien determino que el consumo de agua de un sistema de inundación tardía 45 días post emergencia fue un 25% más

que uno de inundación temprana 15 días post emergencia. Esta diferencia significativa esta básicamente explicada por el hecho de tener que realizar baños. En promedio para los años evaluados el gasto extra de agua debido a tener inundada la chacra por más tiempo (sistema inundación temprana) fue de 372 m<sup>3</sup>/ha, mientras que el gasto correspondiente a la realización de baños (sistema de inundación tardía) fue de 1753 m<sup>3</sup>/ha.

En el caso de la inundación temprana entre un 15% y un 25% del total del agua suministrada se debe al establecimiento de la primera inundación y el resto se debe al concepto de mantener esa inundación.

En el caso de la inundación tradicional (tardía) entre un 20 - 32% del total del agua suministrada es destinada a los baños. El resto se divide entre un 8 - 20% en agua utilizada para establecer la primera inundación y el restante 48 a 72% para mantener esa inundación.

El momento de inicio del riego, no presenta diferencias en cuanto a los rendimientos, pero es clara su importancia dado que modifica significativamente los gastos de agua, lo cual repercute en la eficiencia de uso, obteniéndose los mismos rendimientos con menor cantidad de agua.

Otros efectos que pudieron observarse durante este estudio de los diferentes métodos, fue en cuanto al control de malezas (mejor en inundación temprana), cierre más temprano de entre filas (en inundación temprana), comportamiento frente a enfermedades (mejor en inundación tardía), desarrollo del cultivo, entre otros.

Se observo un acortamiento del ciclo en el cultivo correspondiente a las áreas bajo el manejo de inundación temprana, pero ninguno de estos efectos repercutió significativamente en los rendimientos.

### 2.2.3 Altura de lámina de agua

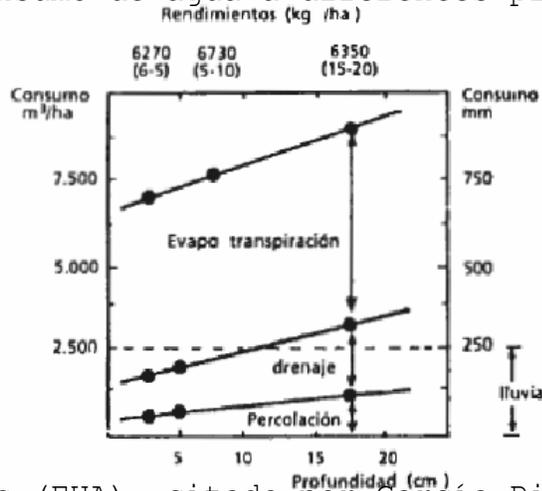
La nivelación correcta de las chacras tiene una alta influencia sobre la altura de la lámina utilizada, dado que existe la posibilidad de que a una menor altura de agua aplicada ciertas zonas de la chacra queden descubiertas (sin regar).

El cultivo de arroz necesita de suelo saturado de forma permanente para cubrir sus necesidades. Esto en la práctica es casi imposible de cumplir, sea por problemas de nivelación o problemas de desnivel natural entre taipa y taipa, para contrarrestar esto se utiliza una lamina entre 5 y 10 cm, la misma actúa entonces como correctora de problemas de micro relieve existente en las chacras.

La altura de la lámina presenta una particular importancia, ya que mayores alturas aumentan el consumo total de agua como consecuencia de un incremento en las pérdidas, como se muestra en la figura 1 (García Ricci, 1982).

Según información citada por García Ricci (1982) con una altura de entre 5 a 10 cm es suficiente siempre y cuando no existan desniveles importantes en el terreno.

Figura No.1: Consumo de agua a diferentes profundidades



Fuente: Arkansas (EUA), citado por García Ricci (1982).

Otra de las razones por el cual es importante manejar la altura de la lámina es que la temperatura del agua tiene

un efecto sobre el desarrollo de las yemas cuando estas se encuentran por debajo del nivel de la lámina de agua. Estudios realizados por Roel (2004) comparando dos laminas de riego diferentes 2.5 y 11.5 cm demostraron que no existían diferencias en cuanto a las temperaturas en el canopio a nivel de la panoja existiendo diferencia en la temperatura del 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.

Blanco y Roel (1994) en la zafra 92-93 y 93-94 en INIA Treinta y Tres determinaron que no hubo diferencias significativas de rendimiento entre 3 tratamientos que presentaban diferente profundidad de lámina, encharcado permanente (lamina mínima que permita saturar el suelo), 10 cm y 20 cm. La variedad que utilizaron fue El Paso 144. Pero existió una tendencia a mayores rendimientos en mayores profundidades de agua.

Por otra parte se observo que el cultivo con riego encharcado acorto su ciclo, alcanzando el 50% de floración 5 días antes que los tratamientos con lamina de entre 10 y 20 cm.

La presencia de lámina de agua y la altura de la misma sobre el suelo es importante ya que influye sobre la población de malezas ya sea tanto en número como especies presentes. Laminas de agua de escasa profundidad que solo llegan a saturar el suelo determinan un ambiente propicio para la proliferación de malezas como gramíneas y ciperáceas (Congreso Brasileiro de Arroz Irrigado, 2005).

#### 2.2.4 Momento de finalización de riego

Este momento se considera crítico debido a su gran influencia con respecto al gasto total de agua, y resulta de una relación que trata de lograr satisfacer los requerimientos del cultivo, consumir la menor cantidad de agua posible y por otro lado la posibilidad de cosechar en seco.

Este momento dependerá del tipo de suelo que presenta la chacra, ya que suelos bien drenados permiten un mayor periodo de riego, finalizando el mismo después del llenado completo de granos, pero en general se considera como el momento más oportuno para finalizar el riego en estado de grano pastoso.

Estudios realizados por Blanco y Méndez (1986) evaluaron distintos momentos de drenaje de chacra y cosecha, no encontrando diferencias significativas entre los tratamientos realizados, por lo tanto se considera que el factor momento de drenaje de la chacra no modifica los rendimientos del cultivo.

Tomando en cuenta otros parámetros como peso de grano, % de verde y % de entero se arriba a la conclusión que el mejor momento para drenar la chacra corresponde a 30 días pos floración y para realizar la cosecha entre 50 y 55 días luego de esta (Blanco y Méndez, 1986).

### 2.3 COMPONENTES DEL GASTO DE AGUA

El gasto de agua es producto de diversos factores entre los cuales se encuentran:

- 1) la evapotranspiración.
- 2) percolación o infiltración.
- 3) manejo del agua.
- 4) pérdidas laterales.
- 5) escurrimiento.

El manejo de riego y el tipo de suelo son dos factores que afectan directamente la percolación y por tanto

resultan determinantes en el gasto de agua, los factores climáticos también juegan un rol preponderante determinando cambios importantes en el consumo. Ej. datos obtenidos por Roel et al. (1998) en mediciones realizadas en la zafra 97-98 a nivel de chacras comerciales.

Cuadro No.1: Gastos de agua en Chacras comerciales zafra 97-98 según zonas del país y Suelos.

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: INIA (1998).

Como se puede observar los volúmenes de agua utilizados para riego en chacras comerciales son variados de acuerdo al tipo de suelo y localización de la chacra.

#### 1) Evapotranspiración

Se define como la cantidad de agua transpirada por el cultivo más la evaporación directa de la superficie del suelo. Es el proceso por el cual el agua es transferida desde el suelo hacia la atmósfera. Se expresa en mm por unidad de tiempo.

Está influenciada por diversos factores, entre ellos se encuentran los climáticos, como radiación, humedad relativa, temperatura y viento; factores de suelo como la disponibilidad de agua y del cultivo como tipo y estado fenológico.

La demanda atmosférica se determina dependiendo del cultivo que se está evaluando siendo esta ETo (Evapotranspiración del cultivo de referencia). Existen

diversos mecanismos para determinar este valor, los más usados a nivel local es el método de Penmann Montey y el Tanque A.

La evapotranspiración del cultivo se calcula como:

$$\mathbf{Etc = Eto * Kc}$$

Se define Kc como el coeficiente del cultivo, variando este con el desarrollo del mismo, y es dependiente de la disponibilidad de agua en el suelo.

Para el cultivo de arroz este coeficiente citado por Duran et al. (2001) está determinado en 1.1 a 1.15 en fase inicial de riego, 1.1 a 1.3 en mitad de ciclo y 0.95 a 1.05 en las etapas finales del cultivo.

De acuerdo a estos datos se determinaron en diferentes ensayos el gasto de agua por concepto de evapotranspiración, siendo este de 600mm en 100 días de riego, para el estudio realizado por Blanco en la zafra 83-84 sobre suelos Solods pertenecientes a Unidad La Charqueada.

Otro estudio realizado por 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.

## 2) Percolación

En términos de riego, cuando hablamos de percolación o infiltración, estamos haciendo referencia al agua aplicada que se pierde por gravedad hacia las capas más profundas del suelo. Si la cantidad de agua aplicada es mayor que la capacidad de retención, el agua infiltrará hacia zonas en las que las raíces del cultivo no pueden acceder, siendo por tanto agua perdida. Dichas pérdidas aumentan con tiempos exagerados de riego y grandes extensiones para regar. Dependen de las características del suelo, básicamente textura, y dentro de esta los parámetros más

importantes son el contenido de arcilla y la presencia de un horizonte B textural que impida el pasaje de agua.

Existen registros de tasas de infiltración de diferentes tipos de suelos en el Uruguay; Blanco (1988) sobre suelos Planosoles limo arcillosos de la Unidad la Charqueada registro niveles de infiltración de 1 mm/día, mientras que García (2005) reporto valores de infiltración para Brunosoles Eutricos L.A. de Unidad Itapebi-Tres Árboles de 4 mm por día. Por lo tanto suelos que presenten diferencias en alguna de las características mencionadas anteriormente tendrán tasas de infiltración significativamente distintas.

La relación de filtración es la cantidad de agua que percola dividida entre el total de agua aplicada con el riego.

**Relación de filtración = Cantidad por filtración profunda/Cantidad de agua aplicada.**

### 3) Manejo del agua

Esta es la variable que determina la eficiencia de uso del agua y está asociada al tipo de riego utilizado inundación continua o intermitente, momento de comienzo y finalización del mismo, altura de la lámina utilizada, etc.

### 4) Perdidas laterales

Estas pérdidas son ocasionadas debido a roturas de los canales o taipas, se asocian generalmente a la topografía de la chacra, chacras con mayor pendiente tendrán mayor probabilidad de sufrir estas pérdidas, a su vez dependerá también del efecto año, básicamente por precipitaciones ocurridas durante el periodo de riego.

### 5) Escurrimiento

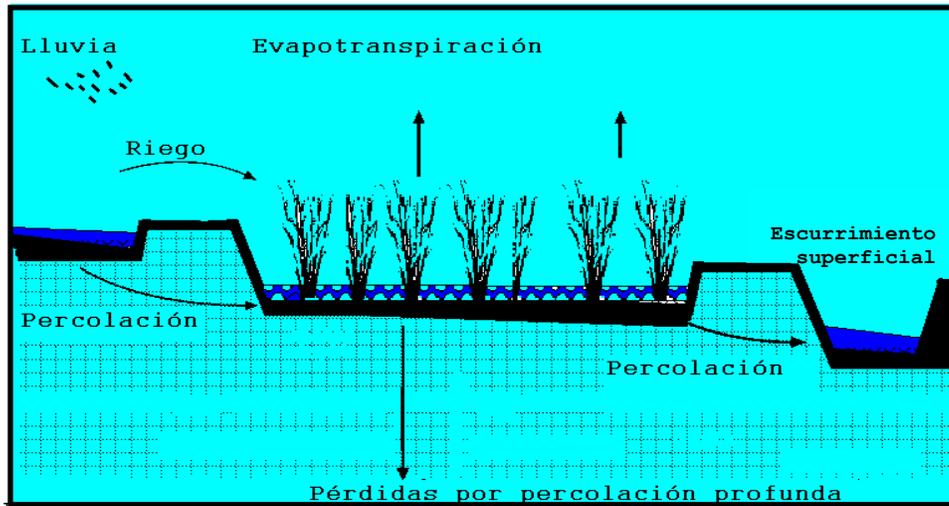
Representa la cantidad de agua de lluvia o riego que cae sobre la superficie del suelo pero que este no puede infiltrar. Así, el agua sobrante escurre sobre él sin ser aprovechada por el cultivo. Puede ser de gran magnitud en algunos sistemas de riego por superficie en los cuales se utiliza grandes caudales de agua o tiempos exagerados de riego.

La relación de escorrentía es la cantidad de agua que escurre sobre la superficie del suelo regado dividida entre el total de agua aplicada con el riego.

**Relación de escorrentía= Cantidad perdida por escorrentía/cantidad de agua aplicada.**

Las pérdidas anteriormente mencionadas al igual que otras, pueden ser de mayor magnitud en presencia de un riego superficial deficiente. Entre las cuales encontramos: pérdidas de agua (escurrimiento superficial y percolación profunda); Lavado de nutrientes causado por percolación profunda y asociado a esto la presencia de sales en la zona de raíces a causa de un drenaje imperfecto; Bajos rendimientos de los cultivos (por excesos o déficit de agua); Erosión, que es el resultado de utilizar caudales muy grandes de agua en pendientes importantes lo que produce arrastre de partículas fuera de los terrenos agrícolas.

Figura No.2: Perdidas de agua en el suelo



Fuente: adaptado de Carnelli<sup>1</sup>.

Cuadro No.2: Estimación de gastos de agua en 100 días de riego

Fuente:	Concepto de Gasto	Gasto en mm	Gamarra
(1996)	Evapotranspiración	600	
	Percolación	100	
Esto	Pérdidas laterales	460	implica un
gasto de	Manejo del agua	170	agua de
13300	Total	1330	m <sup>3</sup> /ha, es
de destacar			en los

en los datos presentados los gastos correspondientes a pérdidas laterales los cuales fueron muy significativos debido a características climáticas(exceso de lluvias).

#### 2.4 CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS INUNDADOS

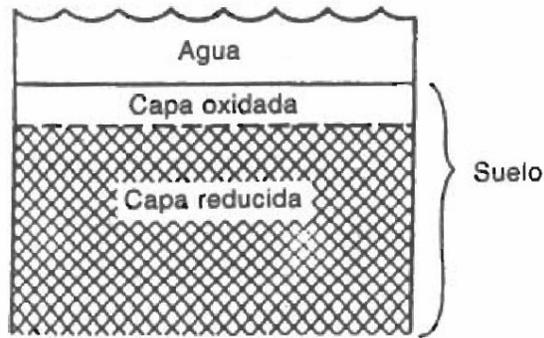
Al inundar un suelo se provocan una serie de cambios en las propiedades físicas, químicas y microbiológicas que sin duda afectan el desarrollo de las plantas.

<sup>1</sup> Carnelli J. 2008 Com. personal

Estos cambios influyen tanto en la disponibilidad o pérdida de nutrientes así como en la absorción por parte de la planta.

El inundar el suelo produce una disminución en el movimiento del oxígeno y modifica sus propiedades formando tres capas como se observa en la siguiente figura

Figura No.3: Capas en un suelo inundado.



Fuente: Gamarra (1996).

- Una capa superficial fina de 5 a 10 mm de espesor la cual contiene cierta cantidad de oxígeno que llega a través del agua por difusión. Esta presenta la particularidad de que en ella ocurren reacciones similares a las que ocurren en suelos secos y aireados.
- Una capa más profunda de 15 a 20 cm denominada capa reducida que se caracteriza por ser anaerobia, en esta capa se encuentra la mayoría de las raíces de la planta de arroz.
- Finalmente una tercera capa de suelo natural que presenta una cantidad normal de aire.

#### Capa reducida

Es la capa que presenta las mayores modificaciones y resulta la más importante ya que en ella se encuentran un elevado % de raíces.

Como se mencionó se caracteriza por la falta total de oxígeno por lo tanto existen condiciones de reducciones severas. Los únicos microorganismos presentes allí son anaerobios y se producen en ella cambios tanto físicos, químicos como biológicos.

#### 2.4.1 Cambios físicos

Tanto poros como agregados del suelo se saturan de agua, se produce la expansión de las arcillas y se comprime el aire de los poros, esto disminuye la estabilidad de los agregados así como la permeabilidad del suelo favoreciendo el menor gasto de agua.

#### 2.4.2 Cambios físico - químicos

Luego de inundado el suelo el oxígeno disminuye bruscamente, al terminar el oxígeno libre se produce un cambio en la flora microbiana, de microorganismos aerobios a anaerobios. Estos microorganismos utilizan compuestos que presentan oxígeno como fuente del mismo, descomponen la materia orgánica del suelo y utilizan sustancias oxidadas para su respiración.

Los principales compuestos que son reducidos (disminución de  $O_2$ ) son: Nitratos, Óxidos de Manganeso, óxidos de hierro y sulfatos, como consecuencia de esto se producen cambios químicos, como modificaciones del pH del suelo y disminuciones del potencial redox (óxido - reducción).

→ Alteraciones del pH

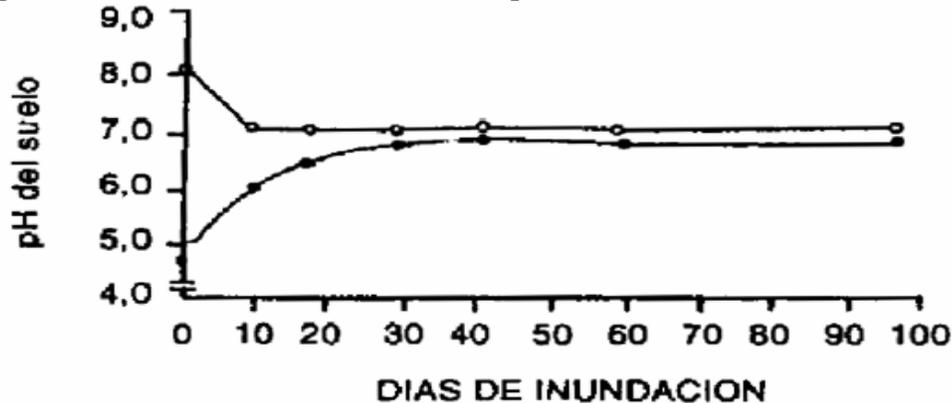
El pH tiende a estabilizarse entre 6.5 y 7.5 aumentando en suelos ácidos y disminuyendo en suelos alcalinos.

Que el pH se estabilice entre estos valores es importante para la planta de arroz ya que esto produce:

- incrementos en la disponibilidad de fósforo.
- aumentos en la descomposición de la materia orgánica.
- disminución en la concentración de  $CO_2$ .

- disminución en la concentración e hierro y aluminio (tóxicos para la planta a elevadas concentraciones).

Figura No.4: Modificación de pH de dos suelos inundados.



Fuente: Machado, citado por Gamarra (1996)

→ Potencial Redox

Indica el grado en que un suelo es reducido u oxidado, los compuestos de  $\text{NO}_3$  (Nitratos) y Mn (Manganeso) son los primeros en sufrir reducciones seguidas por compuestos férricos y por último sulfatos.

Otras modificaciones químicas ocurridas en el suelo son:

- cambios en la dinámica del nitrógeno.
- Aumento en la disponibilidad de Fósforo (P), Potasio (K), Silicio y otros cationes como Ca, Mg, etc.
- Reducciones de Mn, Fe y  $\text{SO}_4$ .

#### 2.4.3 Dinámica del nitrógeno en suelos inundados

Es el nutriente más importante para la nutrición de la planta de arroz a lo largo de todo su ciclo y la eficiencia de aplicación de este nutriente a través del fertilizante es muy baja (20 a 60 %) dada las condiciones de suelo. La inundación estabiliza el  $\text{NH}_4$  y desestabiliza el nitrógeno presente como  $\text{NO}_3$  en el suelo; la planta tiene la capacidad de absorber nitrógeno bajo cualquiera de estas dos formas pero en suelos inundados el nitrógeno no puede mantenerse como  $\text{NO}_3$ .

El amonio ( $\text{NH}_4$ ) presente en la capa oxidada puede oxidarse a  $\text{NO}_3$  el cual puede ser absorbido o puede ser percolado hacia la capa reducida y en esta capa puede ser inmovilizado por la materia orgánica o puede perderse por lavado o desnitrificación (pasaje de  $\text{NO}_3$  a  $\text{N}_2$ ) este proceso es causado por microorganismos anaerobios.

El  $\text{NO}_3$  en cambio tiene dos orígenes, del fertilizante o de la nitrificación del  $\text{NH}_4$  (proceso mencionado anteriormente) el grado en que se produce el pasaje de  $\text{NO}_3$  a  $\text{N}_2$  (desnitrificación) va a depender del potencial redox, de la temperatura, de la concentración de  $\text{NO}_3$  y el contenido de materia orgánica. Estas pérdidas pueden disminuirse si el cultivo presenta un fuerte sistema radicular que tenga un alto índice de extracción.

El  $\text{NH}_4$  también puede sufrir volatilización que consta del pasaje de este nutriente a  $\text{NH}_3$  (amoníaco) esto ocurre cuando se aplica fertilizante que contiene  $\text{NH}_4$  y hay agua en la superficie del suelo. Estas pérdidas pueden llegar a ser muy significativas (+/- 60%) pero pueden disminuirse aplicando el fertilizante al suelo y luego mediante inundación este pasa a la capa reducida.

#### 2.4.4 Fósforo en suelos inundados

El fósforo se puede encontrar en el suelo de dos formas orgánico e inorgánico la forma orgánica es de lenta liberación y presenta menor importancia en cambio la forma inorgánica es la más utilizada por la planta.

En suelos inundados se incrementa la disponibilidad de fósforo ya que se libera el fósforo que se encontraba asimilado al suelo este proceso ocurre debido a:

- hidrólisis de fosfatos de Fe y Al.
- Liberación del fósforo absorbido por intercambio aniónico en arcillas e hidróxidos de Fe y Al.

- Reducciones del ion  $Fe^3$  (férrico) a  $Fe^2$  (ferroso) y liberación de iones de fósforo fijados.

#### 2.4.5 Potasio en suelos inundados

El K resulta el nutriente menos afectado por la inundación del suelo y por lo general es menos limitante que P y N.

Pero la tendencia que presenta es a aumentar debido a la sustitución que sufre por parte de Fe y Mn de las posiciones de intercambio.

Las deficiencias de K pueden ocurrir con mayor frecuencia en suelos livianos.

### 2.5 ANALISIS DE LOS SISTEMAS DE RIEGO MÁS UTILIZADOS

#### 2.5.1 Riego de inundación continúa

Es el sistema predominante en nuestro país, el mismo consiste en inundar el suelo 30 o 40 días post emergencia estableciendo en él una lamina de agua entre 5 a 10 cm de altura.

La principal desventaja de este sistema es que posee un elevado gasto de agua que varía entre 10000 y 13000 m<sup>3</sup>/ha, lo cual tiene una gran repercusión en la eficiencia de uso de la misma (EUA).

Roel (1999) registro una EUA promedios de 0.66 kg de grano/m<sup>3</sup> en sistemas que presentaban este tipo de riego con gastos de agua de aprox. 10900m<sup>3</sup>/ha.

Este sistema puede presentar dos variantes una es el riego corrido denominado así porque el agua se encuentra en constante movimiento dentro de la chacra y la otra es el riego estancado denominado también riego tradicional; el primero se caracteriza por presentar un mayor consumo de agua y una menor temperatura de esta según De Datta (1975) estas variantes no presentan diferencias significativas en el rendimiento.

Según este mismo autor este sistema de riego puede presentar un gasto de agua en situaciones comerciales de hasta un 40% más vs uno tradicional o estancado.

El tipo de siembra es otra variante que se le agrega a este tipo de sistema de riego, la misma puede ser en seco o en agua, en casos de campo de difícil drenaje o cuando así se lo decida se puede realizar la siembra con semilla pregerminada; Roel reporto en 1998 que este sistema de siembra presento un menor rendimiento en grano, como consecuencia de presentar un menor desarrollo en la etapa de macollaje lo que produjo menos panojas por m<sup>2</sup>.

El autor reporto que la siembra en agua presento bajos valores de eficiencia de uso de agua (0,42 kg grano/m<sup>3</sup>) frente a los tratamientos de inundación a 15 días (0,65 kg grano/m<sup>3</sup>) y 45 días (0,55 kg grano/m<sup>3</sup>) como consecuencia de un menor rendimiento y a un mayor gasto de agua.

Vale aclarar que en este trabajo se utilizaron variedades no adaptadas a estas prácticas de manejo.

#### 2.5.2 Sistema de riego "Pin-Point"

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

El sistema consiste básicamente en una siembra en agua utilizando semilla pregerminada, 24 hs luego de realizada la siembra se procede al drenado de la chacra (aproximadamente 3 días) para reinundarla luego hasta la cosecha.

Roel et al. (1996) comparo dicho sistema con el sistema baño inundación. Dicho 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 estos fueran necesarios.

El promedio total de agua aplicado, para los años del estudio fue de 628 mm en el sistema pin-point y 741 mm en el sistema baño inundación.

El sistema de baño inundación además de presentar un mayor consumo de agua presento una mayor evapotranspiración, (transpiración y evaporación) vs el sistema pin-point, a su vez este ultimo presento los mayores valores de IAF. El autor atribuye estas diferencias a que la estructura del cultivo (canopio) fue diferente en ambos tratamientos repercutiendo esto en la penetración de luz. En tanto que el cultivo bajo el sistema baño inundación que se presentaba más abierto, tuvo una mayor radiación incidente sobre la lamina de agua afectando esto la evaporación, también se sugirió que las plantas sobre el sistema pin-point al tener más desarrollo vegetativo aumentaron el sombreado de las hojas inferiores reduciendo así la transpiración, este sistema además presento un acortamiento del ciclo a floración en 6 días por lo cual el periodo de consumo de agua fue menor.

También se verifico una interacción entre sistema de riego / control de malezas ya que en el sistema pin-point no fue necesaria la aplicación de herbicida en los años de estudio, mientras que el otro sistema fue afectado por Equinocloa y Ciperáceas.

En tanto que ambos sistemas no presentaron diferencias significativas en cuanto a rendimiento en los años de estudio, si lo hicieron en la eficiencia de uso del agua (EUA) por lo anteriormente mencionado.

### 2.5.3 Sistema de riego intermitente

En nuestro país este riego consiste en la siembra del cultivo en seco comenzando el riego a los 30-40 días post emergencia, lo que caracteriza este sistema es que el riego se realiza por intermedio de baños, estos consisten en la aplicación de una lamina de 5 a 10 cm de agua, luego se detiene la entrada de esta 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.

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 lamina para que el cultivo exprese su máximo potencial (Bouman et al., 2000).

Este sistema se implemento con el objetivo de "ahorrar agua" en definitiva es una técnica de riego que apunta a disminuir las tazas de infiltración y las perdidas laterales.

Las herramientas que utiliza son la disminución de la altura de la lámina, 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.

El tiempo transcurrido entre la aplicación de una lámina y la siguiente varía según las condiciones climáticas (precipitaciones, temperaturas, etc), los requerimientos del cultivo, tasa de infiltración y las perdidas laterales. Por lo tanto este sistema se caracteriza por presentar un uso más eficiente de las precipitaciones ocurridas entre dos riegos.

Sandhu et al., Tripathi et al., Mishra et al., Tabbal et al., citados por Bouman et al. (2000) reportaron que un cultivo bajo sistema de lámina de agua continua y uno en condiciones de saturación no presentaron diferencias significativas en rendimiento.

El mismo autor reporto para una serie de ensayos realizados en China y Filipinas los tratamientos de ahorro

de agua manteniendo el suelo en saturación, o los que permiten que la lamina infiltre antes de reaplicar el agua, redujeron el gasto de agua manteniendo altos rendimientos, 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 la Universidad de Santa Maria RS, sobre suelos planosoles 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 (kilo pascal) para iniciar el nuevo baño, y un sistema de riego continuo que consistía en mantener una lámina constante de 10 cm de agua. Estos investigadores no encontraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, 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.

Por otro lado existe un riesgo de gasto de agua imprevisto bajo el sistema intermitente en suelos pesados (con alto contenido de arcilla) debido a que la tasa de percolación puede aumentar al secarse el suelo. Este tipo de suelo con alto contenido de arcilla es frecuente en la zona Norte (Basalto) de nuestro país donde se desarrolla parte del cultivo de arroz.

Según Tripathi et al., citados por Bouman et al. (2000) las técnicas de "ahorro de agua" permiten reducir las pérdidas laterales y por infiltración, teniendo un escaso efecto sobre el rendimiento, esto se debe a que la menor lamina de agua produce una menor presión hidrostática.

#### 2.5.3.1 Efecto del riego intermitente sobre manejo del nitrógeno

Como se menciona en el punto (Dinámica del nitrógeno bajo suelos inundados) este nutriente tiene un comportamiento particular cuando el suelo se encuentra en estado de inundación, no es bueno que el suelo se seque luego de la aplicación de nitrógeno pues si esto ocurre se

producen grandes pérdidas como consecuencia del pasaje de este nutriente a  $\text{NO}_3$  (nitrificación), y la pérdida de este por medio de lixiviación y desnitrificación si el suelo se vuelve a inundar. Algunos investigadores como Bouman y Tuong (2000) han registrado que existen diferencias entre el rendimiento de los sistemas intermitente y continuo, y que éstas se deben a las pérdidas de N que ocurren cuando el suelo comienza a secarse y oxigenarse.

Por otra parte Cabangon et al. (2004) reportó en un ensayo realizado en China 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.

## 2.6 EFECTO DEL ESTRÉS HIDRICO EN EL CULTIVO DE ARROZ

El agua es indispensable para la vida de las plantas, el contenido de agua dentro de la planta varía a lo largo del periodo de crecimiento, el agua utilizada se obtiene del suelo mediante la absorción a través de sus raíces. La planta utiliza un pequeño % del agua absorbida el resto es liberado a la atmósfera por transpiración a través de sus hojas.

El suministro adecuado de agua es uno de los factores más importantes en la producción de arroz, los efectos del estrés hídrico afectan marcadamente al cultivo y se dan cuando los niveles de agua del suelo caen por debajo del punto de saturación, en el caso de aplicar un sistema de riego que se encuentre al límite de que la planta sufra un estrés hídrico, caso del riego intermitente este punto adquiere particular importancia.

Se han encontrado diferentes respuestas según el material genético, duración e intensidad del estrés, y el momento del ciclo del cultivo en el que se da este.

La siguiente es una lista de mecanismos de reacción de la planta de arroz frente a situaciones de estrés compilada por Bouman (2000) de una serie de autores entre ellos Singh y Singh (1973), De Datta (1981), Yoshida (1981), Sharma (1989), Wopereis (1993), Garrity y O'Toole (1995), Wopereis et al. (1996).

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, como consecuencia de esto se reduce la tasa de transpiración y la fotosíntesis. Los estomas de las hojas no se cierran inmediatamente con el estrés sino que el cultivo se mantiene fotosintetizando por un cierto periodo de tiempo. 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, lleva 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 de la planta.

5. Cambio en la partición de asimilados. Las raíces crecen más a expensas de un menor crecimiento de los macollos durante el desarrollo vegetativo. Las raíces más

profundas son efectivas en explorar las capas 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 más tarde ocurre.

8. Reducción de macollaje o muerte de macollos. Estrés hídrico 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/panícula 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 No. 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, por lo tanto en menor número 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. Disminuciones en el peso de granos con estrés luego de la floración.

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

Algunos de los procesos antes descritos pueden llegar a ser revertidos o compensados el caso de los tipos 2-3 y 1-8 respectivamente, mientras que algunos son de carácter irreversible perjudicando el rendimiento como es el caso de 4, 9 y 10.

Según De Datta et al. (1973) considera que existe una respuesta diferencial al estrés según los genotipos usados, concluyo que no existe un momento más sensible al estrés sino que esto depende de cada material, no existe tampoco relación entre la duración del ciclo y la reducción de rendimiento, este ensayó 3 momentos de sequía (durante periodo vegetativo, reproductivo y llenado de grano) y pudo agrupar cultivares según el momento en que se afectaban mas por el estrés.

La planta de arroz posee un momento crítico a partir del cual comienza la diferenciación del primordio, los entrenudos comienzan a alargarse y la planta comienza a crecer a tasas muy elevadas. Este es el momento de mayor importancia para el desarrollo de la planta, pues en el se define el número de granos/panoja (EMBRAPA (2004), Recomendaciones Técnicas de Investigaciones para el Sur de Brasil).

Stansel et al. (1975) determinaron que el momento crítico del manejo del agua en el ciclo del cultivo era durante la iniciación de la panícula. Cualquier estrés hídrico que sufra la planta durante el desarrollo de la panícula produce perdidas irreversibles de rendimiento. Durante este periodo el cultivo experimenta la máxima tasa de crecimiento teniendo alta necesidad de agua para el proceso de transpiración, debido a esto durante esta etapa la humedad del suelo no es suficiente para cubrir las necesidades del cultivo, por lo tanto el manejo adecuado de riego del cultivo durante este periodo debería ser de inundación constante.

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 LOCALIZACION

El trabajo de campo fue realizado en el establecimiento "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 2006-2007.

El ensayo fue realizado sobre un suelo Vertisol haplico de la Unidad Itapebi-Tres Árboles de acuerdo a la clasificación de suelos de la Dirección Nacional de Suelos, Aguas y Fertilizantes. Las características del mismo se presentan en el siguiente cuadro. Los datos del perfil completo corresponden a un Vertisol haplico de la Unidad Itapebí-Tres Árboles del Compendio de Suelos del Uruguay.

Cuadro No.3: Propiedades físicas y químicas del suelo

Horizonte	Lim inf	Transición	Color	Arena	Limo	Arcilla	Carbono	pH	Bases(total )	AI interc.	CICpH 7
Au1	20	g	10YR2/1	6,8	37	56	5,07	5,9	47		57,1
Au2	35	d	7,5YR2/0	7,4	25	68	2,28	6,4	58		64,4
Au3	69	c	10YR2/1	8,9	22	69	1,49	6,8	61,7		62,2
C	80	a	5YR2,5/2	10,8	24	65	1,17	7,3	61,3		61,3
2Ck	85		5YR3/3	53,5	18	28	0,29	8,3	45,3		52,8

**VERTISOL HAPLICO unidad Itapebi-Tres árboles.**

Fuente: adaptado de compendio de suelos de Uruguay

### 3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental consistió en un factorial completo de 2 tratamientos de riego (intermitente y continuo) con una superficie de (0.35, 0.41 y 0.42 ha) respectivamente y el otro tratamiento correspondió a riego continuo con tres parcelas denominadas 2, 4 ,6 con una superficie de (0.33, 0.40 y 0.50 ha) respectivamente.

Para el estudio de la respuesta a la fertilización Nitrogenada el diseño experimental fue en parcelas divididas en bloques al azar; siendo los sistemas de riego asignadas a la parcela mayor y los diferentes niveles de fertilización nitrogenada fueron asignados aleatoriamente a las parcelas menores. Las diferentes parcelas denominadas menores tenían una medida de 6 x 5 m.

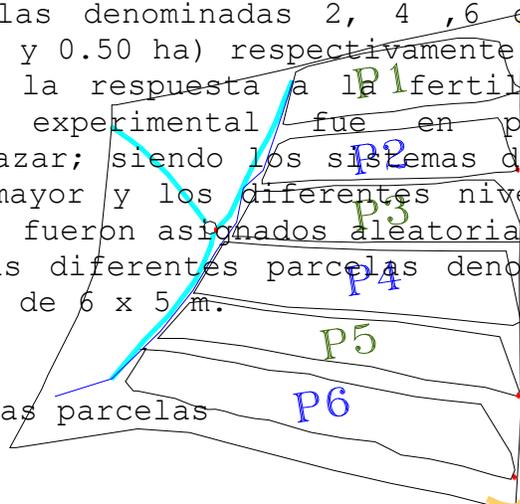


Figura No.5: Esquema de las parcelas

Riego Intermitente
--------------------

Riego Continuo
----------------

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.1 Análisis estadístico

OBJETIVO: Medir el rendimiento en grano de un cultivo de arroz; sometido a dos sistemas de riego (continuo e intermitente) y diferentes tratamientos de nitrógeno. Esto se repitió para dos lugares de muestreo (cuadro y taipa).

Para el análisis estadístico (análisis de varianza, diferencias mínimas significativas, y correlaciones) se utilizó el sistema SAS para Windows, versión 9.0.

El diseño utilizado fue el de bloques al azar con parcelas subdivididas, en donde la parcela mayor correspondió a los sistemas de riego Continuo e Intermitente, la parcela intermedia fue de fertilización a la siembra 0 y 22 U N/ha en tanto que la parcela menor correspondió a ubicación cuadro y taipa x fertilización en macollo y primordio.

#### 3.2.1.1 Análisis de los sistemas de riego

Los sistemas de riego estaban ubicados en la parcela mayor con tres repeticiones por tratamiento, para su análisis se utilizó el modelo descrito a continuación.

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

$Y_{ij}$  = consumo de agua en m<sup>3</sup>/ha

$\mu$  = media poblacional.

$R_i$  = efecto del factor riego.

$\beta_j$  = efecto del bloque.

$\varepsilon_{ij}$  = error experimental.

3.2.1.2 Para el análisis de rendimiento y sus componentes.

De la combinación de dosis y momento de aplicación de la fertilización surgen siete tratamientos organizados en tres bloques, el modelo estadístico utilizado fue el siguiente.

$$Y_{ijklm} = \mu + \beta_i + R_j + \varepsilon(a) + FS_k + (RXFS)_{jk} + \varepsilon(b) + U_1 + (RxU)_{j1} + (FSIxU)_{k1} + (RxFSxU)_{jkl} + FMyP_m + (RxFMyP)_{jm} + (FSIxFMyP)_{km} + (UxFMyP)_{lm} + (RxFSxUxFMyP)_{jklm} + \varepsilon(c)$$

Donde:

$Y_{ijklm}$  = Rendimiento, ...componentes

$\mu$  = media poblacional.

$\beta_i$  = efecto del "i-ésimo" bloque.

$R_j$  = efecto del "j-ésimo" bloque.

$\varepsilon(a)$  = error efecto  $R_j$ .

$FSI_k$  = efecto del "k-ésimo" bloque.

$\varepsilon(b)$  = error efecto  $FSI_k$ .

$U_1$  = efecto del "l-ésimo" bloque.

$\varepsilon(c)$  = error  $U_1$  y  $FMyP_m$

$MyP_m$  = efecto del "m-ésimo" bloque

3.2.1.3 Para el análisis de materia seca en diferentes estadios del cultivo se utilizo el siguiente modelo

$$Y_{ijklm} = \mu + \beta_i + R_j + \varepsilon(a) + FS_k + (RXFS)_{jk} + \varepsilon(b) + U_1 + (RxU)_{j1} + (FSIxU)_{k1} + (RxFSxU)_{jkl} + FMyP_m + (RxFSIxU)_{jkl} + \varepsilon(c)$$

Donde:

$Y_{ijklm}$ : Son las variables Kg MS/ha en macollaje, primordio y 50% floración.

$\mu$  = media poblacional.  
 $\beta_i$  = efecto del "i-ésimo" bloque.  
 $R_j$  = efecto del "j-ésimo" riego.  
 $\varepsilon(a)$  = error efecto  $R_j$ .  
 $FSI_k$  = efecto del "k-ésimo" fertilización a la siembra.  
 $\varepsilon(b)$  = error efecto  $FSI_k$ .  
 $U_1$  = efecto del "l-ésima" ubicación.  
 $\varepsilon(c)$  = error  $U_1$  y  $FMyP_m$ .  
 $FMyP_m ((RxFSIxU)_{jkl})$  = efecto de la "m-ésima" fert en macollaje y primordio anidado en la combinación Riego-Fert.siembr-ubicacion

3.2.1.4 Para el análisis del índice de cosecha se utilizo el siguiente modelo

$$Y_{ijklm} = \mu + \beta_i + R_j + \varepsilon(a) + FS_k + (RXFS)_{jk} + \varepsilon(b) + U_1 + (RxU)_{j1} + (FSIxU)_{k1} + (RxFSxU)_{jkl} + \varepsilon(c)$$

Donde:

$Y_{ijkl}$ : Índice de cosecha

$\mu$  = media poblacional.

$\beta_i$  = efecto del "i-ésimo" bloque.

$R_j$  = efecto del "j-ésimo" riego.

$\varepsilon(a)$  = error efecto  $R_j$ .

$FSI_k$  = efecto del "k-ésimo" fertilización a la siembra.

$\varepsilon(b)$  = error efecto  $FSI_k$ .

$U_1$  = efecto del "l-ésima" ubicación.

$\varepsilon(c)$  = error  $U_1$ .

### 3.2.2 Tratamientos de riego

Para ambos tratamientos se realizo un baño (12/12/2006) previo al comienzo de riego el mismo fue, para ambos sistemas el día 28/12/2006, 40 días post emergencia. A partir de este momento el cultivo se mantuvo en inundación permanente hasta el momento de fin del riego el 24 de marzo de 2007, el cultivo tuvo un periodo de riego de 85 días.

El riego del sistema intermitente se aplicaba con el criterio de mantener el suelo en estado de saturación con el mínimo gasto de agua. El momento de entrada de riego se decidió de acuerdo a tres herramientas.

1) A través del programa de riego de la estación de Santa María (Brasil). Es un programa a través del cual se hace un seguimiento de las condiciones climáticas T °C, HR, ETP y nos indica en qué momento regar y con cuantos mm.

2) Por el seguimiento de los tensiómetros. Es un instrumento a través del cual se determina el potencial con cual el agua esta retenida en el suelo, siendo este valor utilizado para estimar la humedad del suelo.

3) Recorridas de chacra evaluación de agua libre en el suelo.

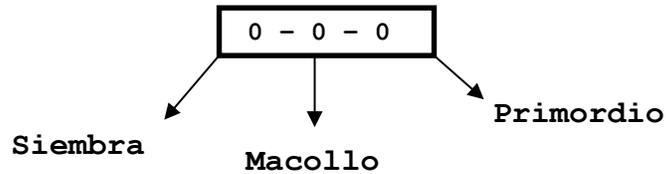
A través de las recorridas de chacra se trata de determinar la cantidad de agua libre en el suelo (barro) y teniendo en cuenta los puntos anteriormente mencionados se decide realizar el riego.

Para realizar el registro de gasto de agua se colocaron aforadores volumétricos instalados en lugares estratégicos. El aforador principal se ubico a la entrada de la chacra y permitía regar cada parcela por separado. Aforadores secundarios fueron colocados en la salida de cada parcela de manera de recoger y medir los excesos causados por el escurrimiento superficial de ambos sistemas.

### 3.2.3 Tratamientos de nitrógeno

Para la evaluación de la fertilización nitrogenada y su interacción con el tipo de riego se instalaron tres bloques de fertilización por sistema de riego y se instalaron repeticiones en taipa y cuadro para cada bloque.

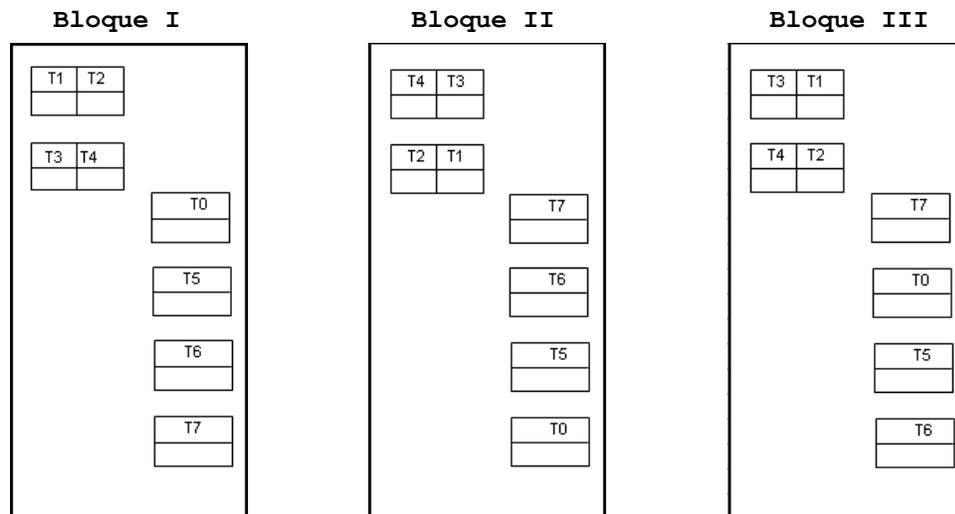
Los momentos de fertilización con nitrógeno fueron los siguientes:



Las dosis utilizadas en los diferentes momentos fueron las siguientes: 0, 50 y 100 Unidades de Nitrógeno. De la combinación de dosis y momentos surgen ocho tratamientos diferentes descritos a continuación.

- |                                   |                                   |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| <b>T<sub>0</sub></b> = 0-0-0      | <b>T<sub>4</sub></b> = 21.6-50-50 |
| <b>T<sub>1</sub></b> = 21.6-50-0  | <b>T<sub>5</sub></b> = 0-50-0     |
| <b>T<sub>2</sub></b> = 21.6-0-0   | <b>T<sub>6</sub></b> = 0-100-0    |
| <b>T<sub>3</sub></b> = 21.6-100-0 | <b>T<sub>7</sub></b> = 0-50-50    |

Figura No.6: Distribución de los diferentes tratamientos dentro de los Bloques



Fuente: elaboración propia.

Todos los tratamientos se instalaron en diciembre de 2007 previo a inicios de macollaje. A la siembra se aplicaron 21.6 Unidades de N a los tratamientos correspondientes y 55.2 Unidades de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a todos los tratamientos.

El Nitrógeno aplicado a la siembra fue bajo la forma de Fosfato de Amonio (18-46-46-0), en macollaje y primordio el nitrógeno aplicado fue bajo la forma de urea (46-0-0).

### 3.3 Manejo de cultivo

El cultivo se realizo en una chacra que fue arroz en la zafra 02/03 y luego se realizo una pradera de trébol rojo, lotus y raigrás que tuvo una duración de tres años.

En cuanto a la preparación del suelo la misma consistió en una aplicación presiembra de 4 lts de glifosato+0,8 lts de 2-4 D tratamiento realizado el 10 de septiembre.

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

El cultivo se sembró el 11 de noviembre de 2006 a razón de 146 kg/ha de semilla certificada de cultivar El Paso 144. Esta operación se realizo en siembra directa con maquina Semeato con una distancia entre líneas de 17 cm.

La fertilización base correspondió a 120 kg/ha de 18-46-46-0 (21.6 UN y 55.2 UP como P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) a los tratamientos que así lo requirieron y 120 kg/ha de 0-46-46-0 para aquellos tratamientos sin nitrógeno a la base, todo el fertilizante fue localizado junto a la semilla. Las refertilizaciones se realizaron con 50 y 100 UN bajo forma de urea al estadio de tres macollos, y se volvió a refertilizar en primordio.

Se aplico un herbicida selectivo de pos emergencia el día 6 de diciembre el mismo fue una triple mezcla clomazone, propanil, quinclorac a razón de 0.8, 3.5 y 1 lt/ha respectivamente, no se aplicaron fungicidas ni insecticidas al no detectarse incidencia de 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

Lo primero que se realizo en el cultivo fue un conteo de plantas/m<sup>2</sup> con el fin de determinar el % de implantación. La metodología consistió en contar plantas en 1 metro lineal en cada punto donde se efectuó el muestreo de suelo.

Durante todo el ciclo del cultivo se realizaron extracciones de muestras de materia seca las mismas fueron realizadas en tres periodos macollaje, primordio y 50% de floración.

Para la extracción de muestras se corto de un rectángulo de 50x17 cm correspondiente a cada tratamiento de fertilización en ambos sistemas de riego, la misma se realizo tanto para cuadro como para taipa.

#### 3.4.2 Mediciones posteriores a la cosecha

La cosecha fue efectuada el día 10 de abril a los 142 DDE. Se corto en forma manual (con hoz), una superficie que correspondió a 5 m<sup>2</sup>, en los lugares donde se instalaron los tratamientos de fertilización de 6 x 5m.

Luego el material cosechado fue trillado por una cosechadora manual de tipo experimental, una vez que las muestras se encontraban en el laboratorio se procedió a realizar la limpieza del grano, se registró el peso y se corrigió por el grado de humedad estandarizando al 13%.

El mismo día de la cosecha se extrajeron muestras para poder estimar los componentes de rendimiento, así como también el índice de cosecha. El área utilizada fue de 0,17 m<sup>2</sup> (1x0,17m), dicho muestreo se realizo para cuadro y taipa de cada tratamiento.

Para el cálculo de estos componentes se procedió de la siguiente manera: en cuanto a los componentes de rendimiento, se tomaron las muestras secas, limpias y sanas; se contó el número de panojas; se realizó el desgrane y su posterior limpieza; se pesaron los granos limpios y el material obtenido por su limpieza (restos secos, granos chuzos, etc); conteo y peso de 1000 granos, estos datos, a través de cálculos matemáticos fueron extrapolados a hectáreas con el fin de obtener valores más representativos.

En cuanto al índice de cosecha IC (proporción de la materia seca total correspondiente a los granos); se realizó peso húmedo y seco de las muestras (48 hs en estufa a 70 °C) y posterior desgrane; peso de granos limpios; luego de haber obtenido estos datos se procedió al cálculo de dicho índice  $\text{Peso grano seco/peso MS total}$ .

#### 4. RESULTADOS y DISCUSIÓN

##### 4.1 REGISTRO CLIMÁTICO ZAFRA 06-07

El objetivo de este punto es caracterizar las condiciones ambientales de la zafra, de manera de poder comprender a través estas variables climatológicas, lo

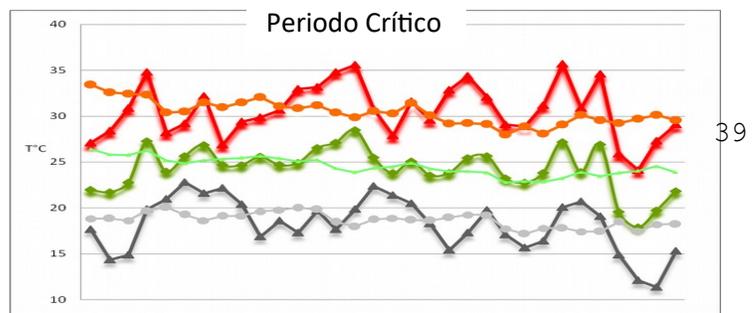
sucedido con el cultivo; ya que estas presentan un efecto determinante sobre el rendimiento del mismo.

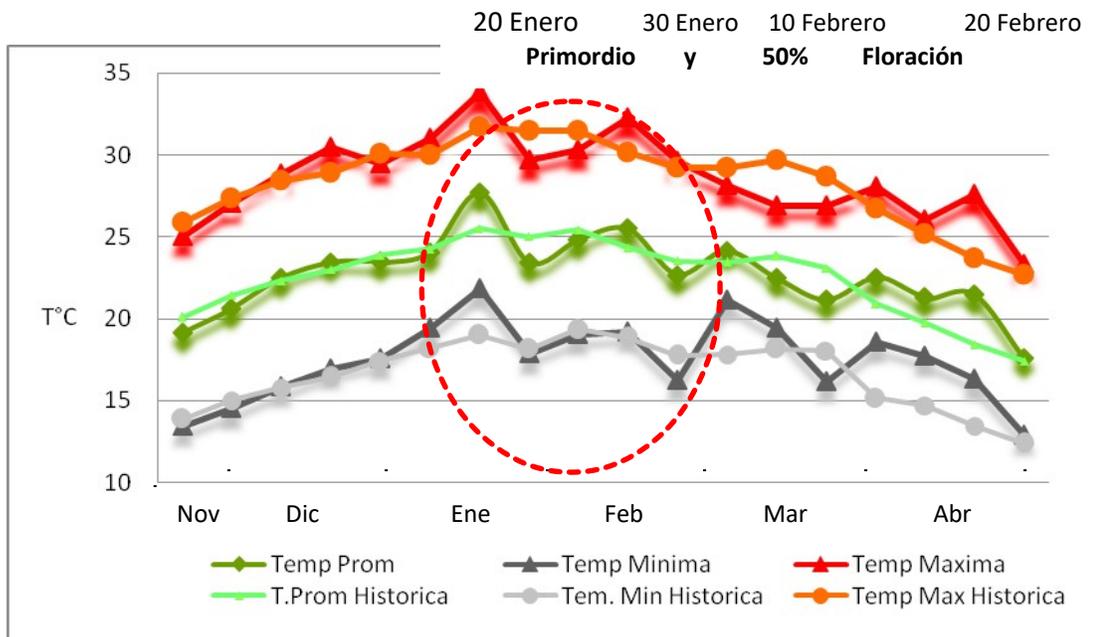
El registro de las diferentes variables climatológicas se realizó mediante el monitoreo de una estación meteorológica automática Davis Vantage Pro 2 instalada en el ensayo.

También se contó con los registros que se obtuvieron de evapotranspiración medida a través del tanque A instalado en dicha estación meteorológica.

#### 4.1.1 Temperatura

Figura No.7: Temperaturas media, máxima y mínima de la zafra 06-07 en comparación con los registros históricos (INIA Salto Grande 90-05)





Fuente: elaboración propia en base a datos de la estación meteorológica El Junco e INIA Salto Grande.

Como se observa en la grafica las temperaturas mínimas resultaron limitantes en ciertos periodos de tiempo para lograr un normal desarrollo y crecimiento del cultivo.

Una tendencia general de la grafica es que fue un año particular desde el punto de vista de los dos parámetros tanto máximas como mínimas difirieron notoriamente en ciertos periodos con la respecto a la serie histórica.

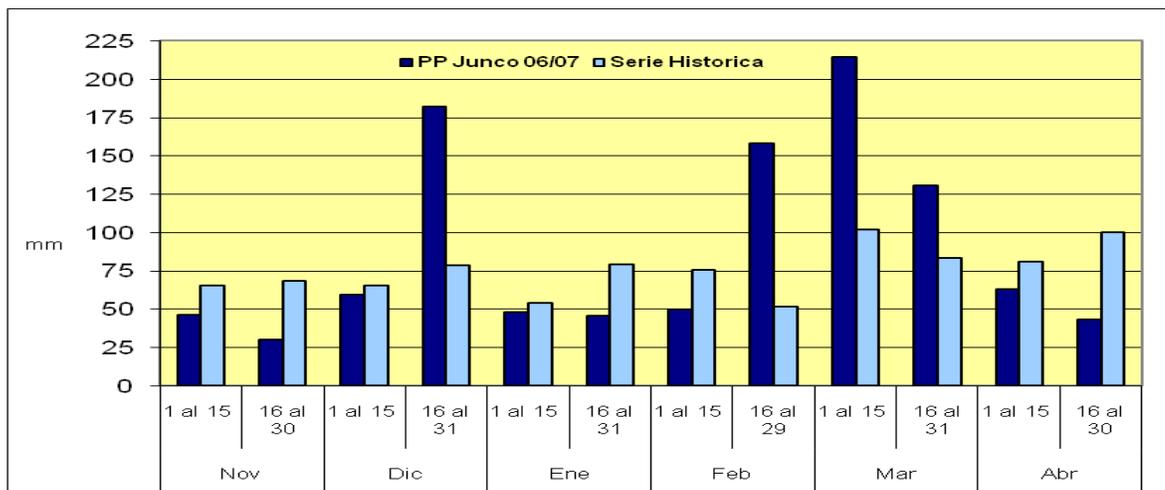
En cuanto al periodo comprendido entre el 20 de enero y el 20 de febrero que se corresponde al periodo Crítico del cultivo desde Primordio hasta 50 % de Floración, se registraron algunos días con temperaturas por debajo de los 15° las cuales pueden haber afectado el rendimiento del cultivo.

Según Stansel (1975) tanto las temperaturas por encima de 35° c como las inferiores a 15° c afectan la polinización. Por lo tanto podemos decir que las mayores limitaciones fueron debido a bajas temperaturas en este periodo entorno a 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 que puede verse más afectada 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.

#### 4.1.2 Precipitaciones

Figura No.8: Registro de Precipitaciones durante la zafra 06-07 y su comparación con los valores históricos de dicho periodo (INIA Salto Grande 90-05)



Fuente: elaboración propia en base a datos de la estación meteorológica El Junco e INIA Salto Grande.

En cuanto a las precipitaciones ocurridas la zafra se caracterizo por presentar ciertos periodos que difieren notoriamente de los valores históricos; tal es el caso de la segunda quincena de diciembre la cual presenta un 56.8 % superior de precipitaciones, al igual que la segunda quincena de febrero presentando un 67.4 % superior y el mes de marzo presenta la mayor diferencia en cuanto a estos

valores de precipitaciones ocurridas con el 46.4 % superior respecto al mismo periodo en la serie histórica.

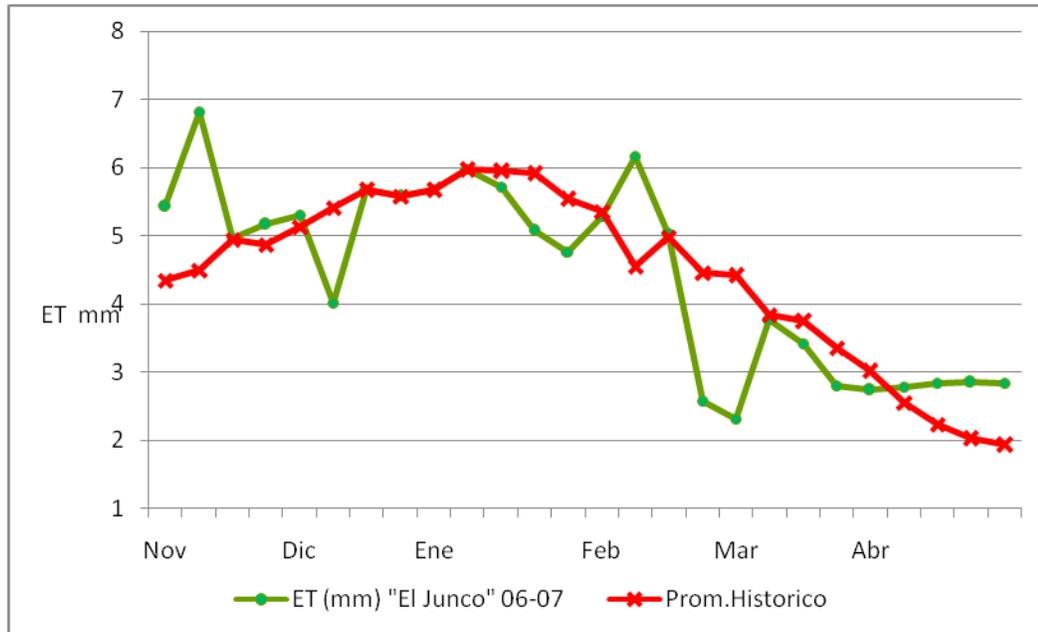
En cuanto al total de precipitaciones ocurridas durante el periodo, valores comprendidos entre el 1° de noviembre y el 30 de abril, la zafra 2006-2007 se caracterizo por presentar un 15.5 % más de precipitaciones respecto a la serie histórica (1068.86 vs 903.27 milímetros respectivamente).

Durante el mes de noviembre los valores de la zafra fueron inferiores a los registrados históricamente, hecho por el cual se realizaron baños en el cultivo con el fin de mejorar su implantación.

#### 4.1.3 Evapotranspiración

La ETP fue medida a través de la estación meteorológica mediante la ecuación de Penman Monteih ya que el tanque A no cuenta con todos los registros diarios.

Figura No.9: Evapotranspiración diaria "El Junco" 06-07 y su comparación con los valores Históricos (INIA Salto Grande 90-05).



Fuente: elaboración propia en base a datos de la estación meteorológica El Junco e INIA Salto Grande.

En la grafica se observan ciertos periodos en los cuales el valor de ETP tubo diferencias importantes con respecto a su similar periodo en la serie histórica, el primer periodo que abarca desde principios de noviembre hasta la segunda quincena de diciembre se caracteriza por presentar valores superiores de Evapotranspiración. El segundo periodo que abarca desde principios de enero hasta los primeros días del mes de febrero se caracterizo por presentar valores similares o algo inferiores a la media histórica este periodo es importante teniendo en cuenta que abarca gran parte del periodo crítico del cultivo, existió un tercer periodo alrededor del 15 de febrero en el cual los valores fueron claramente superiores y de ahí en adelante los valores vuelven a ser inferiores a la media histórica.

La evapotranspiración del cultivo en todo su ciclo calculada como  $ETo * Kc$  (términos explicados en componentes de gasto de agua "evapotranspiracion") para la zafra fue de 603 mm, valor similar al reportado por Blanco (600 mm) para la zafra 83-84.

Cuadro No.4: ETC según fase de cultivo.

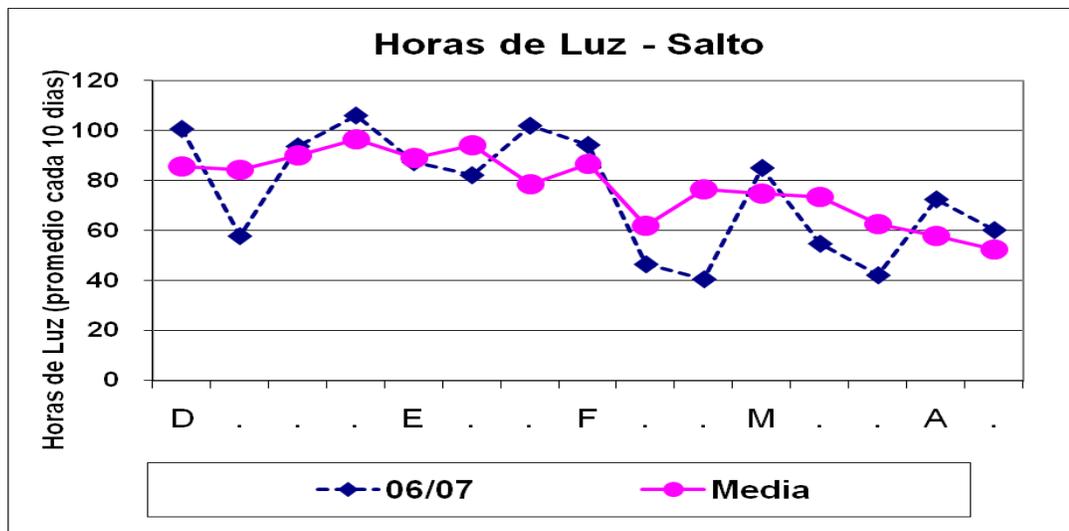
Periodo	Días	ETc (mm)
Fase inicial	60	193
Fase media	60	289
Fase final	36	121
<b>Total</b>	<b>156</b>	<b>603</b>

Fuente: elaboración propia

Como se observa en el cuadro las tres fases se caracterizan por presentar consumos muy diferentes, la fase que tiene mayor importancia es la fase media ya que en la misma está comprendido el periodo crítico del cultivo, etapa en la cual presenta altas tasas de desarrollo, por lo tanto mayores requerimiento de agua para el proceso de transpiración, debido a esto es que en dicha fase se produjo el 47,9% del total de ETc del cultivo.

#### 4.1.4 Heliofania relativa

Figura No.10: Heliofania periodo diciembre - abril 06/07.



Fuente: elaboración propia en base a datos aportados por INIA Tacuarembó.

La zafra 06/07 se caracterizo por presentar un elevado índice de precipitaciones lo cual está fuertemente relacionado con las horas luz que recibe el cultivo durante su ciclo, como se observa los valores registrados desde

mediados de febrero en adelante fueron inferiores a la media histórica.

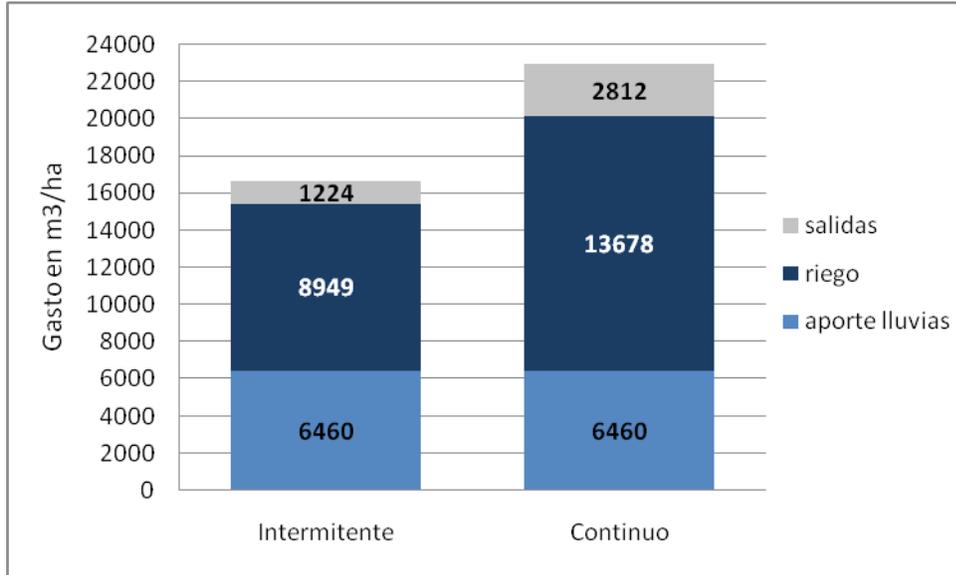
Munakata, citado por Roel (1998) encontró una fuerte correlación entre el número de granos llenos/m<sup>2</sup> y los valores de radiación en un periodo que abarca desde 40 días previos a la floración hasta 10 días posteriores a la misma. Stansel (1975) determino que el periodo de máximo requerimiento de luminosidad se extiende desde la diferenciación de la panoja hasta 10 días antes de madurez fisiológica.

Por tanto en nuestras condiciones sería deseable que la floración ocurra en enero. Para la zafra del ensayo la radiación fue limitante en ciertas etapas, dada la gran cantidad de días nublados observados.

#### 4.2 GASTO DE AGUA Y COMPONENTES DEL RIEGO

A continuación se presenta el gasto total de agua para ambos sistemas de riego (Figura 11).

Figura No.11: Gasto de agua según el sistema de Riego continuo o intermitente (m<sup>3</sup>/ha).



Fuente: elaboración propia en base a datos de la estación meteorológica El Junco e INIA Salto Grande.

El sistema de riego intermitente tuvo un menor gasto de agua existiendo una significativa reducción entorno al 22% en comparación al riego continuo.

El caudal utilizado fue similar en los dos sistemas de riego, el ensayo se regó con un caudal promedio de 35 lt/s.

El promedio de duración de riego fue 82 mts. para el riego Continuo, el cual se realizo cada 24 horas. Utilizando una lamina promedio de 17.3 mm, mientras que para el riego Intermitente se requirieron 228 mts., cada 100 horas promedio aplica una lamina de 10 mm por riego.

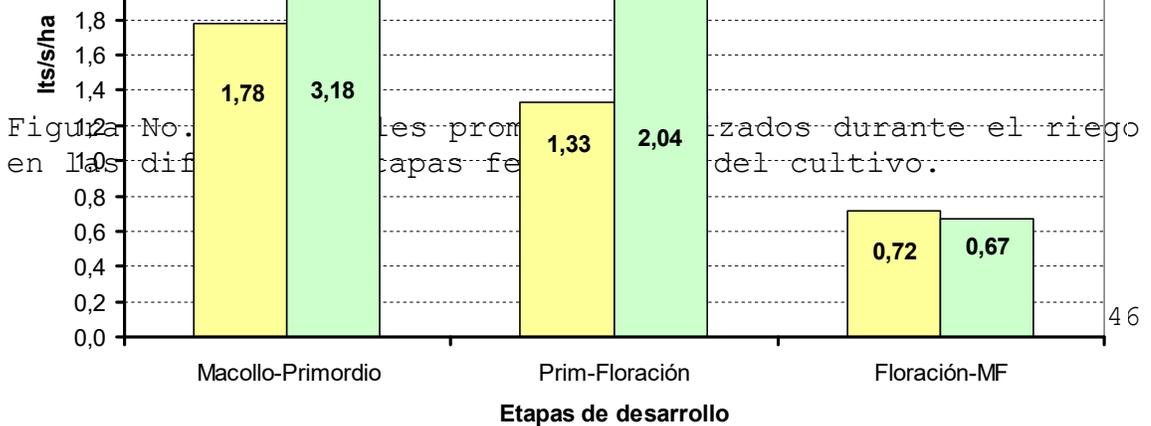


Figura No. 12: Consumo de agua (lts/s/ha) en las diferentes etapas de desarrollo del cultivo.

Los mayores gastos de agua ocurrieron en las primeras etapas del cultivo, como consecuencia de que en dicha etapa está presente la fase de inundación de la chacra, la cual requiere una mayor cantidad de agua debido a la necesidad de llenar el perfil del suelo. Luego durante el periodo crítico primordio-floración el cultivo tiene mayores requerimientos, dado que en esta etapa se producen las máximas evapotranspiraciones (ETc). A medida que avanza el ciclo del cultivo existe una tendencia a disminuir el caudal utilizado, debido a una menor demanda por parte del cultivo.

#### 4.3 RESULTADOS EN EL CULTIVO

##### 4.3.1 Crecimiento del cultivo

Al cultivo se le realizó un conteo de plantas con el fin de verificar como fue la emergencia del mismo, lográndose un stand de plantas de 194 pl/m<sup>2</sup>, no existiendo diferencias entre los tratamientos de riego.

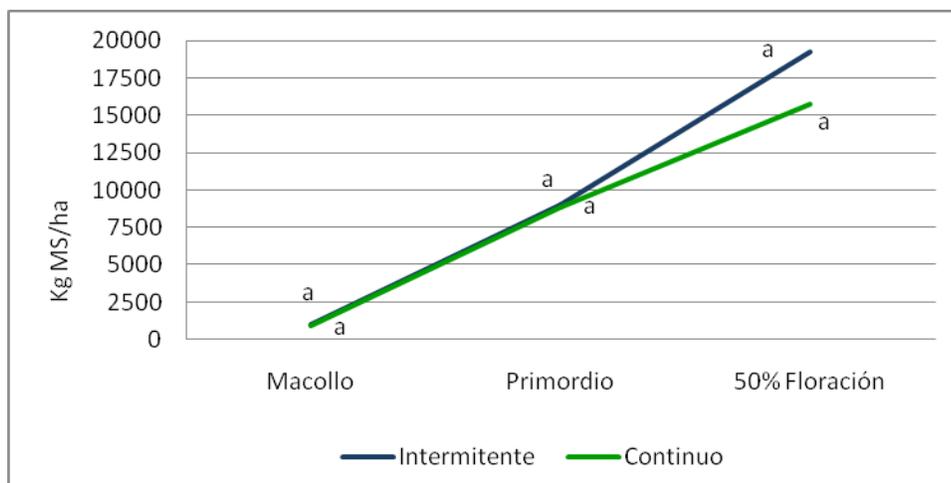
Para monitorear el desarrollo del cultivo se realizaron mediciones de materia seca en tres momentos: al macollaje, primordio y 50% de floración.

Para el análisis de los datos se tomaron los siguientes efectos: el riego como efecto principal a

evaluar, además de la ubicación de la muestra (cuadro o taipa), la fertilización tanto en la base (siembra) como en macollaje y primordio, así como las posibles interacciones entre los factores mencionados.

No se generaron diferencias significativas en cuanto a la producción de Materia Seca entre ambos tratamientos de riego (Figura 13).

Figura No.13: Producción de Materia Seca en Kg/ha en diferentes momentos del Cultivo.



Fuente: elaboración propia

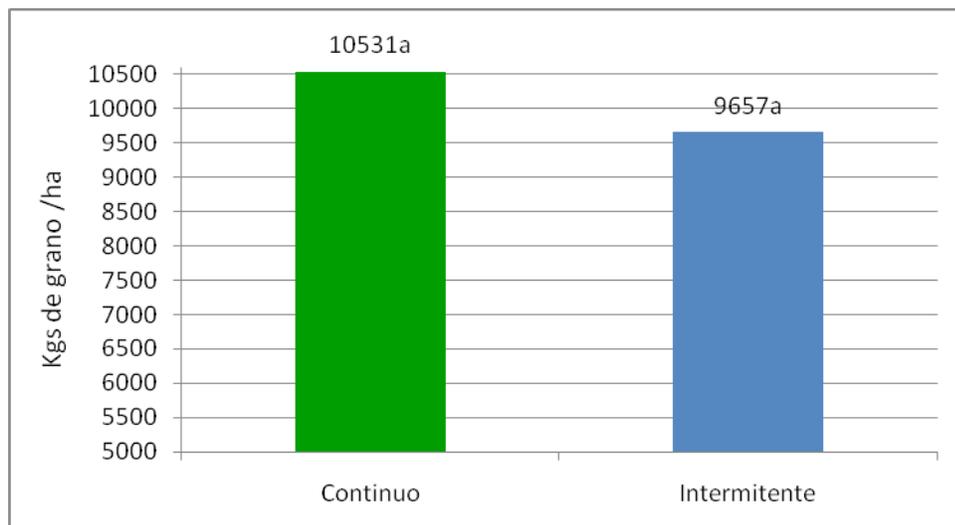
\* Medias seguidas de letras iguales no difieren significativamente al 5% según Test de Tukey. La Figura no es una regresión, por lo que debería ir como variable discreta, es decir, en figura de barras.

La producción de materia seca (MS) durante la etapa vegetativa del cultivo fue similar para ambos tratamientos de riego. A partir de la etapa de primordio, el tratamiento intermitente tuvo una tendencia a mayor producción de materia seca, pero el mismo no llegó a ser significativo.

#### 4.3.2 Rendimiento en grano

Para el estudio del rendimiento en grano del cultivo se tomaron muestras dentro de las parcelas que recibieron algún tratamiento de fertilización o las parcelas testigo, y dichas muestras a su vez fueron tomadas en dos lugares taipa y cuadro a lo que se le llamo efecto ubicación.

Figura No.14: Rendimiento en gran seco y limpio en función del tratamiento de Riego.

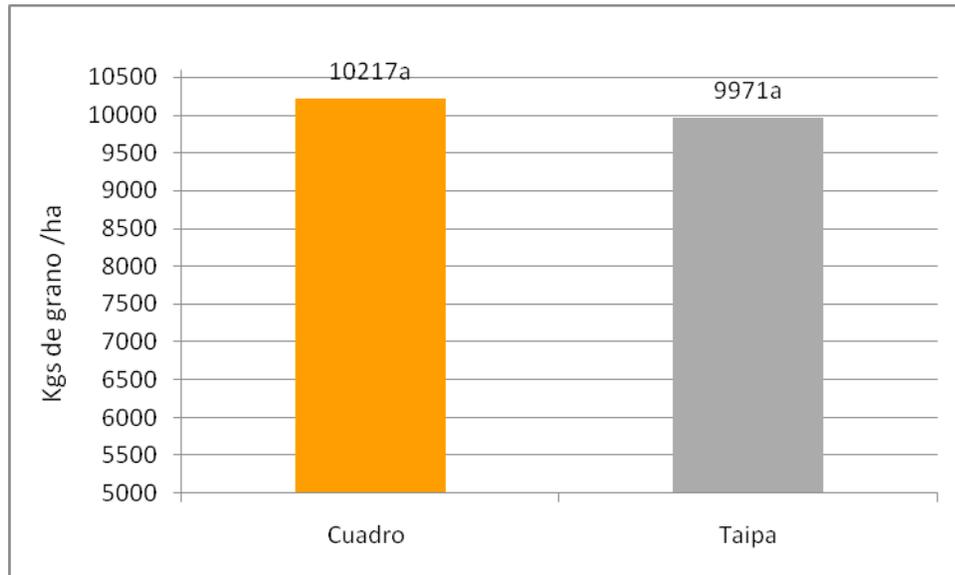


Fuente: elaboración propia

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

El tipo de riego no género diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento en grano.

Figura No.15: Rendimiento en grano en cuadro y taipa.

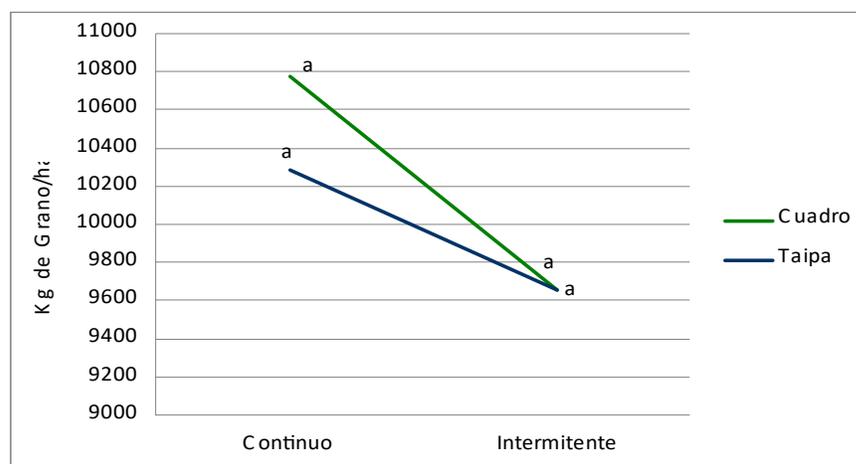


Fuente: elaboración propia

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

- El rendimiento obtenido en el cuadro y en la taipa no difirieron significativamente entre sí punto que adquiere vital importancia en función del área que ocupa la taipa en la chacra en esta zona del país.

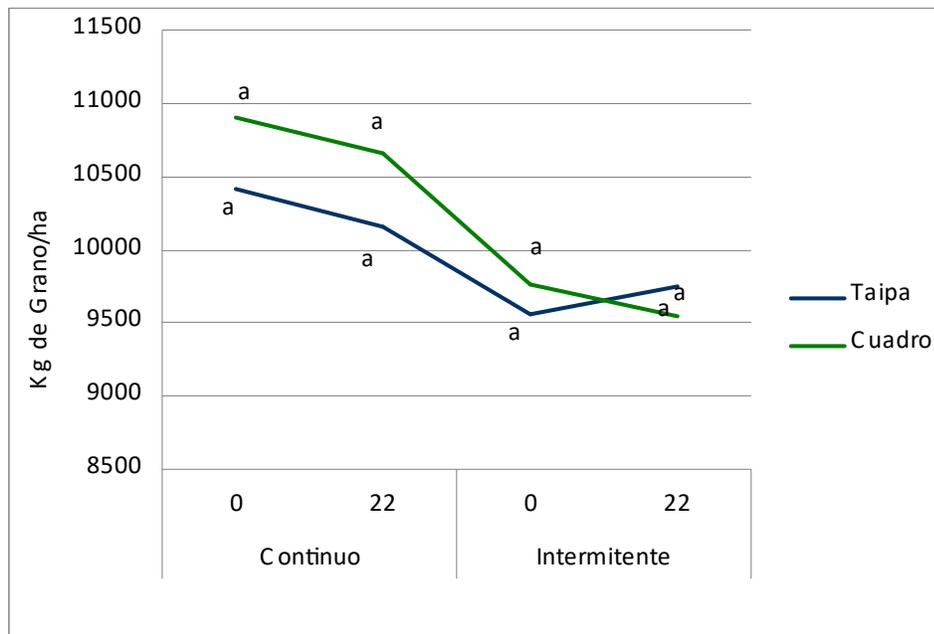
Figura No.16: Rendimiento en base a tipo de riego y ubicación de muestreo.



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

La interacción entre tipo de riego, ubicación en el cuadro o taipa y la fertilización nitrogenada, tampoco generó diferencias significativa en rendimiento (Figura 17).

Figura No.17: Rendimiento en base a tipo de riego, ubicación de muestreo y fertilización a la siembra.



Fuente: elaboración propia

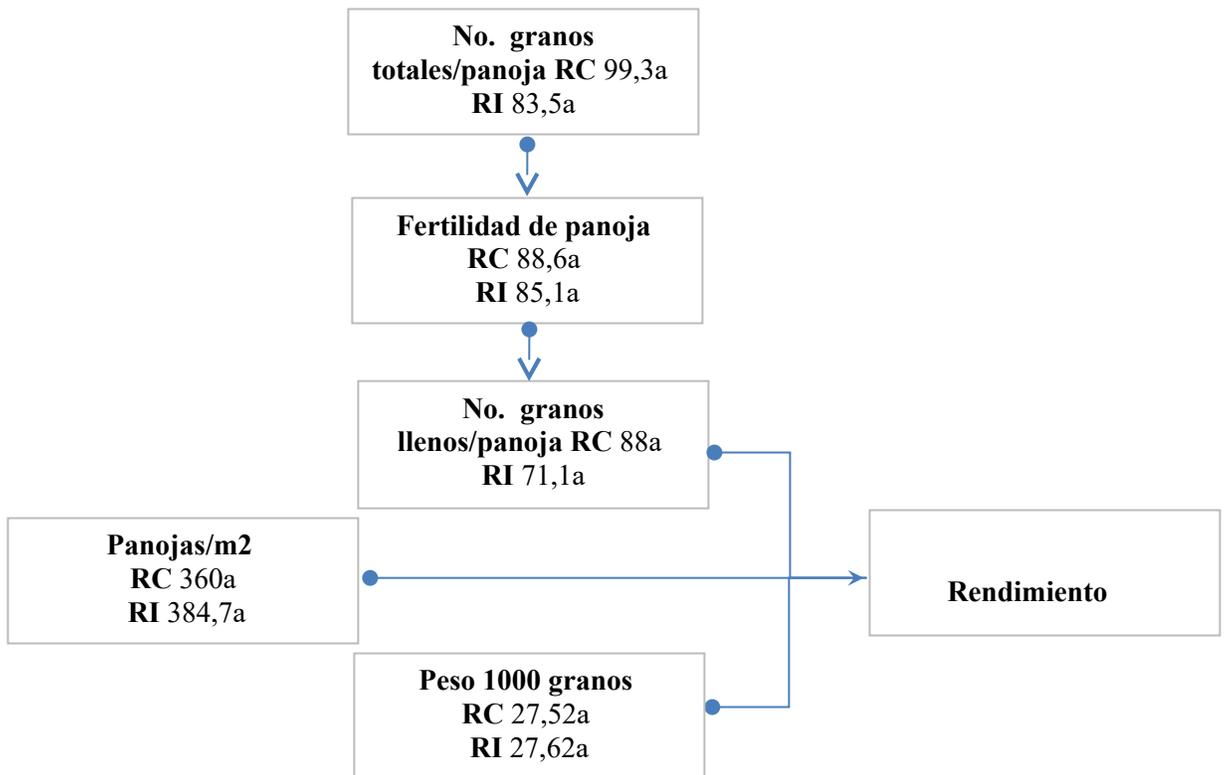
\* Las medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia significativa al 5%.

En cuanto a la taipa no generó diferencias apreciables en el rendimiento tomando en cuenta ambos sistemas de riego a las dosis mencionadas, pero si se observa que la tendencia a disminuir el rendimiento en el riego intermitente, se corrige cuando se le agrega a este sistema nitrógeno a la base como se observa en el gráfico.

#### 4.3.2.1 Componentes de rendimiento

Para el análisis de los componentes de rendimiento a continuación se plantea un esquema teniendo en cuenta el tipo de riego y la ubicación.

Figura No.18: Componentes de Rendimiento para Cuadro.



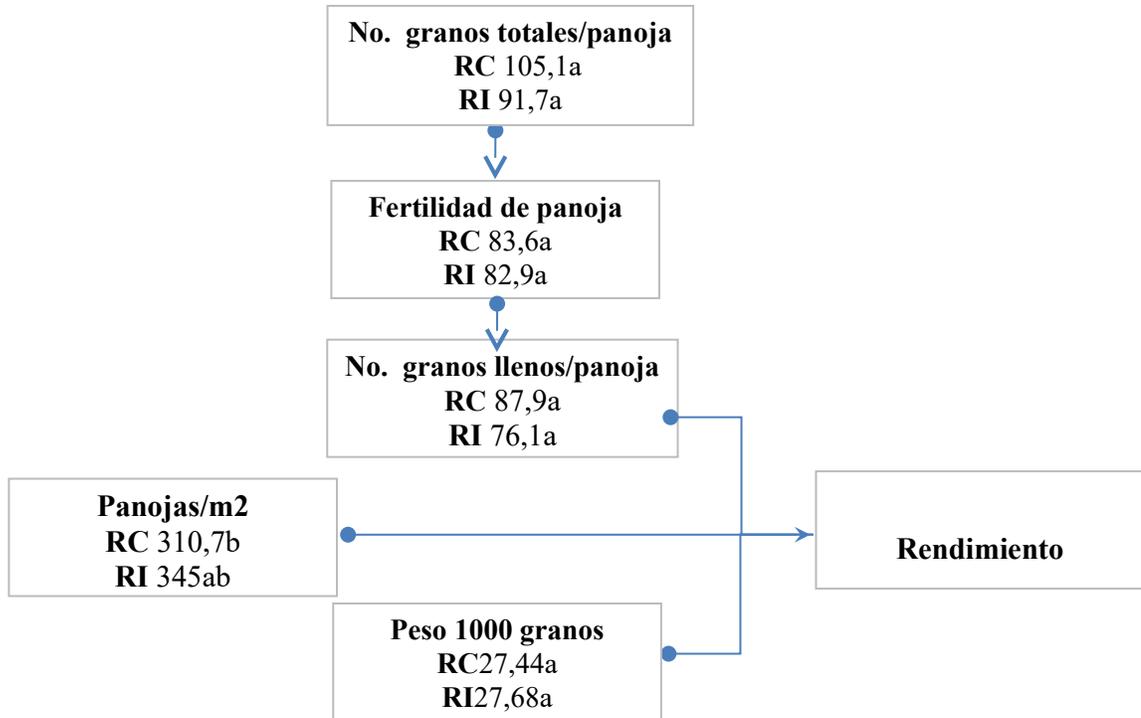
Fuente: elaboración propia

RI = Sistema de riego intermitente

RC = Sistema de riego continuo

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

Figura No.19: Componentes de Rendimiento para Taipa.



Fuente: elaboración propia

RI = Sistema de riego intermitente

RC = Sistema de riego continuo

\* Las medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia significativa al 5% según el test de Tukey.

En los datos presentados, la única variable que presento diferencias estadísticamente significativas, fue el número de panojas/m<sup>2</sup> en la taipa, variable que genero la tendencia a disminuir el rendimiento en la taipa.

Analizando comparativamente los tratamientos de riego, el sistema intermitente presento un mayor número de panojas/m<sup>2</sup>, una mayor competencia ejercida por las mismas determino que el mismo vea afectada su fertilidad, logrando un menor número de granos llenos por panoja, con un peso similar de los mismos.

El peso relativo de cada uno de los componentes y su magnitud, determino que el rendimiento del tratamiento intermitente resultara un tanto menor que el tratamiento continuo, pero sin que esto determinara diferencias estadísticamente significativas.

Los conteos de plantas realizados al inicio de riego no muestran diferencias en el número de plantas/m<sup>2</sup> entre tratamientos, por lo que un menor número de panojas en la zona de la taipa puede ser consecuencia de una baja tasa de crecimiento sobre finales de macollaje, presentando un menor número de tallos fértiles por m<sup>2</sup>. Esto puede ser consecuencia de que en la zona del lomo de la taipa no siempre se logra mantener la humedad necesaria y como consecuencia de una elevada demanda atmosférica en ciertos periodos, se provoco un estrés hídrico que terminó reduciendo el número de panojas/m<sup>2</sup>, si bien ambos sistemas experimentaron este efecto, el mismo fue contrariamente a lo que se podía esperar, más marcado en el riego continuo.

Dado que el resto de las variables no presentaron diferencias importantes, solo se verifican ciertas tendencias que no se pueden validar estadísticamente, se puede suponer que no existieron grandes limitantes en el resto de las etapas del cultivo en ambos sistemas de riego.

#### 4.3.3 Índice de cosecha

Cuadro No.5: Valores Índice de Cosecha.

Índice de cosecha		
Sistema de Riego	Taipa	Cuadro
Continuo	0,52a	0,53a
Intermitente	0,52a	0,54a

Fuente: elaboración propia

\* Las medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia significativa al 5% según el test de Tukey.

El índice de cosecha no presento diferencias significativas según las variables estudiadas.

#### 4.4 EFICIENCIA DE USO DE AGUA

La eficiencia de uso de agua puede ser definida de diferentes formas: desde el punto de vista fisiológico puede ser vista como, la cantidad de arroz producido por los m<sup>3</sup> de agua evapotranspirada, que en el cuadro se presenta como (Kg/m<sup>3</sup> de ETP) o puede definirse desde el punto de vista del riego, como los Kg de arroz producidos por m<sup>3</sup> de agua utilizados (Riego + lluvias).

Cuadro No.6: Eficiencia de Uso del Agua.

Sistema de riego	EFICIENCIA DE USO DEL AGUA		
	Kg grano/m <sup>3</sup> de ETP	Kg grano/m <sup>3</sup> riego (neto)	Kg grano/m <sup>3</sup> riego (neto)+lluvia
Continuo	1,75*	0,97*	0,61°
Intermitente	1,6**	1,25**	0,69 <sup>oo</sup>

Fuente: elaboración propia

\* 10531 Kg grano/6030 m<sup>3</sup> ETP;

\*\* 9657 Kg grano/6030 m<sup>3</sup> ETP

\*10531 Kg grano/10866 m<sup>3</sup> riego neto;

\*\* 9657 Kg grano/7725 m<sup>3</sup> riego neto

°10531 Kg grano/17326 m<sup>3</sup> riego neto+lluvia;

°° 9657 Kg grano/14185 m<sup>3</sup> riego neto+lluvia

El primero de los cálculos se realizó en base al agua evapotranspirada y al rendimiento en grano que tuvo cada sistema, debido a que el valor de evapotranspiración fue el mismo para ambos sistemas (603 mm), la diferencia está dada de acuerdo al rendimiento en grano que produjo cada uno, siendo superior el calculado en el sistema de riego continuo.

En cuanto al segundo, como éste considera los m<sup>3</sup> agregados por sistema de riego (neto), las diferencias fueron claramente a favor del tratamiento intermitente (28,8% superior), dado que las diferencias en el rendimiento fueron escasas el significativo menor gasto de agua experimentado explica estos resultados. Al realizar el cálculo adicionando las lluvias, se puede observar que las eficiencias disminuyen en forma importante manteniendo una diferencia del 13 % a favor del riego intermitente.

Los valores obtenidos con el riego continuo (tomando el dato de riego neto) son similares a los obtenidos por Roel para un promedio de 3 zafras (96-98) con cv INIA

Tacuari, el cual reporto valores de eficiencia de uso de agua en inundación temprana (20 DPE) de 0.746 kg grano/m<sup>3</sup> de agua.

#### 4.5 RESPUESTA AL NITROGENO

En este punto se analizara la respuesta al agregado de nitrógeno (N) para cada tratamiento de riego, en diferentes momentos de ciclo del cultivo (siembra-macollo-primordio) y con diferente ubicación (Cuadro 7).

Cuadro No.7: Rendimiento en función de la fertilización a la siembra, sistema de riego y ubicación.

Sistema de Riego	Fert. Siembra (Kg N/ha)	Taipa	Cuadro
<b>Continuo</b>	0	10409 a	10900 a
	18	10158 a	10656 a
<b>Intermitente</b>	0	9562 a	9768 a
	18	9755 a	9545 a

Fuente: elaboración propia

\* Las medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia significativa al 5% según el test de Tukey.

No hubieron diferencias significativas en rendimiento en grano para las diferentes fertilizaciones utilizadas de base (siembra), al igual que no se encontraron diferencias según la ubicación y el tipo de riego utilizado (Cuadro 8).

Cuadro No.8: Rendimiento en función de la fertilización en las etapas de macollo y primordio teniendo en cuenta el sistema de riego y la ubicación de muestreo.

Fert. Mac - Prim	<b>Continuo</b>		<b>Intermitente</b>	
	Taipa	Cuadro	Taipa	Cuadro
0-0	10493 a	10570 a	9777 a	9299 a
50-0	10438 a	11097 a	9452 a	9490 a
50-50	10117 a	10681 a	9691 a	10070 a
* 100-0	10087 a	10764 a	9714 a	9627 a

Las medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia significativa al 5% según el test de Tukey.

Las aplicaciones (N) en las etapas de macollo y primordio no generaron diferencias apreciables en los rendimientos en ambos sistemas de riego, el factor ubicación tampoco tuvo incidencia sobre estas aplicaciones.

Sería esperable una respuesta a la aplicación de N en el tratamiento de riego intermitente, ya que podrían existir condiciones predisponentes a la pérdida de N por desnitrificación y volatilización debido a la alternancia de humedecimiento y secado. En nuestro ensayo no ocurrió de esta manera porque el riego se realizó de forma correcta, manteniéndose el suelo permanentemente saturado, por lo tanto no existieron condiciones de alternancia de secado y re-humedecimiento que condicionaran la pérdida de nitrógeno. Es por este motivo que no encontramos respuesta a la aplicación de dicho nutriente, ya que el suelo realiza un aporte importante, condición que estaba prevista teniendo en cuenta el alto porcentaje de Materia Orgánica que muestra el análisis de suelo evidenciando un alto potencial de mineralización.

Otro punto a tener en cuenta es que el cv El Paso 144 no ha 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 x N mediante diferentes sistemas de riego (inundación temprana, tardía y riego intermitente), cuando las condiciones ambientales no incidieron en la obtención de altos rendimientos.

## 5. CONCLUSIONES

- El sistema de riego intermitente no afectó el rendimiento de grano de arroz en forma significativa.
- Con el sistema de riego intermitente se logró una reducción en el gasto de agua que equivale a un 34%.
- la eficiencia de uso de agua resultó ampliamente mayor que la realizada por el sistema continuo.
- No se encontraron respuestas a la fertilización nitrogenada en ninguno de los dos sistemas de riego, en ninguno de los los momentos y dosis utilizadas.
- No se encontraron diferencias en el rendimiento de arroz entre taipa y cuadro en ninguno de los sistemas de riego, punto que adquiere vital importancia en función del área que ocupa la taipa en la chacra en esta zona del país.

## 6. RESUMEN

Uruguay tiene en el cultivo de arroz uno de sus principales generadores de divisas, presentando el mismo un gran dinamismo e importancia económica, al punto que se ha constituido en el tercer rubro de exportación. Su introducción y desarrollo se ha situado históricamente sobre la zona Este del país debido principalmente a sus características topográficas de suelos planos ubicados en la regiones cercanas a las márgenes de arroyos, ríos o lagunas, contando entonces con una importante disponibilidad de agua. Hoy en día la situación es muy diferente, dado los cambios ocurridos en los últimos 15 años, ya que el cultivo se ha expandido hacia nuevas regiones principalmente zona Norte y Centro del país colonizando áreas con pendientes más pronunciadas, compitiendo por suelo y agua con otros cultivos de verano como maíz, sorgo y soja, dándole en definitiva un carácter más nacional que regional a la producción de arroz. El agua por lo tanto es una limitante para la expansión del cultivo, lo que plantea el desafío de innovar en técnicas de riego que utilicen menor cantidad de agua sin afectar los rendimientos. El objetivo del presente trabajo se basa en evaluar el rendimiento del cultivo de arroz, cv "El Paso 144" mediante dos sistemas de riego, intermitente y continuo y la respuesta a la fertilización nitrogenada en dichos sistemas. Se planteo un diseño con dos tratamientos de riego (intermitente vs continuo) con tres repeticiones. Para la respuesta a N, se realizaron subdivisiones (parcelas menores) dentro de cada tratamiento. Se registró el gasto de agua en metros cúbicos por hectárea para poder determinar el consumo de cada tratamiento de riego. El sistema de riego intermitente tuvo un menor gasto de agua existiendo una significativa reducción entorno al 34% en comparación al riego continuo. En cuanto a las eficiencias del uso del agua: eficiencia fisiológica (gramos de grano/m<sup>3</sup> de ETP) se observa una superioridad del sistema continuo de un 9,3 % mientras que desde el punto de vista del riego (Kg grano/m<sup>3</sup> riego neto + lluvia) la eficiencia es superior en un 21,2 % a favor del riego intermitente. Para la determinación del rendimiento se cosechó en forma manual (con hoz), una superficie que correspondió a 5 m<sup>2</sup>,

en los lugares donde se instalaron los tratamientos de fertilización de 6 x 5m, que abarcaban cuadro y taipa. No se encontraron diferencias significativas en el rendimiento según la técnica de riego utilizada, ni con respecto a la ubicación (cuadro o taipa), ni en las diferentes dosis y momentos de fertilización nitrogenada al igual que para sus respectivas interacciones. El mismo día de la cosecha se extrajeron muestras para estimar los componentes de rendimiento, así como también el índice de cosecha, realizando dicho muestreo para cuadro y taipa de cada tratamiento. El peso relativo de cada uno de los componentes y su magnitud, determinó que el rendimiento del tratamiento intermitente resultara un tanto menor que el tratamiento continuo, pero sin que esto determinara diferencias estadísticamente significativas. La única variable que presentó diferencias, fue el número de panojas/m<sup>2</sup> en la taipa, variable que al comparar entre tratamientos tampoco influyó en el rendimiento. Para monitorear el desarrollo del cultivo se realizaron mediciones de materia seca en tres momentos: al macollaje, primordio y 50% de floración no encontrando diferencias significativas entre los sistemas de riego utilizados. El índice de cosecha no presentó diferencias significativas según las variables estudiadas.

Palabras clave: Arroz; Sistema de riego; Técnicas de ahorro de agua; Consumo de agua.

## 7. SUMMARY

Uruguay has in the rice crop one of its main currency generators, displaying itself a great dynamism and economic importance to the point that has been constituted in the third heading of export. Its introduction and development have been located historically at the east zone of the country owing mainly to its topographic characteristics; which are flat grounds located in the regions nearby the bank of a stream, river or lagoon counting so on an important water availability. Nowadays the situation is very different in view of the changes happened in the last 15 years, since crop has expanded towards new regions mainly north zone and center of the country colonizing areas with more pronounced slopes, competing for ground and water with other summer crops like maize, sorghum and soybean; giving this way a more national character than regional to the rice production. Therefore, water is a determining factor for crop expansion which raises the challenge to innovate in irrigation techniques which use minor amount of water without affecting the yields. The aim of the present work is to evaluate the yield of the rice crop, cv "El Paso 144" by means of two irrigation systems, intermittent and continuous and the answer to the nitrogen fertilization in these systems. It was consider a design of two irrigation treatment (intermittent versus continuous) with three repetitions. For the answer to N, subdivisions (smaller plots) within each treatment were made. The use of water in cubic meters by hectare was registered to be able to determine the consumption of each irrigation treatment. The intermittent irrigation system had a smaller consumption of water presenting a significant reduction of about 34% in comparison to the continuous irrigation. As for the efficiencies of the use of water: physiological efficiency (grams of grain/m<sup>3</sup> of ETP) a superiority of the continuous system was observed in a 9.3% whereas from the point of view of the irrigation (kg grain/m<sup>3</sup> irrigation + rain) the efficiency is superior in a 21.2% in favor of the intermittent irrigation. For the determination of the yield it was harvested in manual form (with sickle), a surface that corresponded to 5m<sup>2</sup>, in the places where the fertilization treatments of 6 x 5m were installed, that included stable and taipa. No significant differences were

found in the yield according to the technique of irrigation used, nor with respect to the location (stable and taipa), neither in the different doses and moments of nitrogen fertilization as well as for their respective interactions. The same day of the harvest samples were extracted to estimate the components of the yield, as well as the index of harvest, making the aforesaid sample for stable and taipa of each treatment. The relative weight of each one of the components and its magnitude determined that the yield of the intermittent treatment resulted somewhat smaller than the continuous treatment, but without this determined statistically significant differences. The only variable that displayed differences, was the number of panojas/m<sup>2</sup> in the taipa; variable that when comparing between treatments did not influence in the yield either. In order to monitor the development of the crop measurements of dry matter were made in three moments: at macollaje, primordio and 50% of flowering not finding significant differences between the used irrigation systems. The harvest index did not present significant differences according to the studied variables.

Key words: Rice; Systems of irrigation; Saving water technics; Water consumption.