

RIEGO DE ARROZ POR INUNDACIÓN INTERMITENTE

Bernardo Böcking, Gervasio Finozzi, Pablo Silveira, Santiago Bandeira y Juan P. Carnelli

A. Introducción.

El establecimiento "El Junco" se encuentra próximo a la Colonia Itapebí, a 53 Km al Este de la ciudad de Salto. Donistar S. en C. es una empresa cuyo giro principal es la producción de arroz, con la responsabilidad social de producir alimentos dentro de las normas y pautas de manejo de los recursos naturales sostenibles. Básicamente produce arroz en rotación con praderas. El establecimiento se encuentra integrado a la generación y transferencia de tecnología agropecuaria con la Facultad de Agronomía, Universidad de la República, EE Dr. M. Cassinoni e INIA, EE Tacuarembó, EE Treinta y Tres y EE Las Brujas y convenios nacionales e internacionales específicos.

A pesar de ser una afirmación frecuentemente repetida y escuchada, no debería dejar de ser el punto de partida del presente informe. **El agua es un recurso escaso, y por la incidencia en la producción, invaluable.** Asumiendo esto como una verdad irrefutable, debemos aprender a cuidar y controlar el uso de este vital recurso. Por otro lado la variabilidad climática que estamos viviendo y las perspectivas a mediano y largo plazo hacen que debamos involucrarnos como protagonistas porque la problemática no nos es ajena. Tanto para el cultivo de arroz en nuestras condiciones (el riego es un aspecto asimilado a dicho cultivo), como para cualquier otro emprendimiento agrícola, seguro el riego debiera ser parte imprescindible. El uso del agua debe ser debidamente jerarquizado y llevado a cabo con adecuado conocimiento de la materia.

El presente trabajo expone sobre la tecnología de riego en arroz que se emplea en la producción comercial del establecimiento. Se trata de riego por taipas en contorno con inundación intermitente. Esta técnica conlleva una relativamente nueva concepción en el manejo del agua de un cultivo que tradicionalmente se riega por inundación permanente en la mayor parte del ciclo. *Hace mejor aprovechamiento de las lluvias, tiende a mejorar la productividad del agua en el cultivo de arroz y al mejor control del riesgo de contaminación ambiental.*

En El Junco se llevan registros de los componentes del proceso de riego y de producción que permiten la elaboración de indicadores y comparación entre sistemas de riego, dentro de cada sistema por represa y entre años. El manejo de indicadores de riego es una metodología aplicada a la planificación, análisis, integración de procedimientos y acción. Los indicadores varían con los objetivos propuestos del sistema de producción y de riego. Desde que los indicadores se establecen como relaciones o eficiencias consideran la entrada y salida en el sistema. Es importante el registro físico de las variables y procesos utilizados en los indicadores.

El Junco a través de una organización_ registra el clima en una base de datos automática conectada vía satélite con la Universidad de Santa María y el INIA. Se controla la evolución de volúmenes acumulados de lluvia en represas por limnómetros y ecuaciones de cálculo. Se miden caudales en canales, regueras y evaluación de riego en los cuadros. El seguimiento de la programación de riego se efectúa en base a indicadores de humedad de campo y por la programación climática del servicio de monitoreo INIA- Santa María. Las evaluaciones de aplicación de agua se realizan para diferentes situaciones de campo, con los resultados se corrigen procedimientos de riego durante la temporada y se establecen metas para la temporada siguiente.

B. Características del Sitio.

Relieve y Asociaciones de Suelos.

Las unidades de suelo que componen el entorno productivo son principalmente Itapebí - Tres Árboles, Cuchilla de Haedo-Paso de los Toros, Arapey y Curtinas (Carta Reconocimiento de Suelos del Uruguay, Escala 1-1000000, Dirección de Suelos y Fertilizantes, MGAP, 1976).

La fisiografía de la zona se compone de un paisaje bien disectado sobre un relieve de roca basáltica de Formación Arapey con valles bien delimitados. Presenta lomadas fuertes de 3 a 6% de pendientes y lomadas suaves con pendientes de 1 a 3 %. En la parte más alta del relieve suelen aparecer afloramientos basálticos con suelos superficiales asociados. Los interfluvios ocupan posiciones altas con suelos moderadamente profundos y profundos, ocupados por suelos Vertisoles Háplicos (Grumosoles), y Brunosoles Eutrícos Típicos. En los quiebres de pendiente Brunosoles Eutrícos Típicos y Regosoles, en ocasiones Pardo Rojizos. Existen asociaciones de suelos superficiales y profundos, en diferentes proporciones, dentro de las unidades de suelo que existen en la zona. En los valles los suelos son Vertisoles profundos, de hasta un metro de profundidad. Las texturas dominantes son arcillo limoso, arcilloso, franco arcilloso. Son suelos de drenaje natural moderadamente bueno y de fertilidad natural alta. Los pHes del horizonte superficial son ligeramente ácidos. Son suelos pesados de muy baja conductividad hidráulica en saturación y permeabilidad lenta. La Unidad I - TA pertenece al grupo hidrológico D " ...Suelos con velocidad de infiltración muy lenta cuando se encuentran completamente mojados..."(A. Durán, Clasificación hidrológica de los Suelos del Uruguay, 1997) El contenido de materia orgánica es mayor al 5% y frecuentemente mayor al 7%.

C. Clima.

1. Caracterización Climática

El arroz es un cultivo muy demandante de agua, requiere aproximadamente 7000m³/ha (700 mm) para desarrollarse correctamente y llegar a buenos rendimientos. En nuestra región el arroz se cultiva desde Setiembre hasta Marzo, en esta época llueven en promedio aproximadamente 1060 mm (Serie Histórica 10 años) más que suficiente para que el cultivo se desarrolle correctamente. El problema no es la cantidad sino la distribución de las lluvias ya que si partiéramos de un suelo saturado y llovieran 8 mm todos los días y saliera el sol esto sería más que suficiente para suplir los requerimientos y obtener buenos rendimientos.

A continuación se presenta un resumen de las condiciones climáticas de la Zafra 04-05 comparado con la Serie Histórica de INIA Salto Grande (1990-2004), cuadro 1.

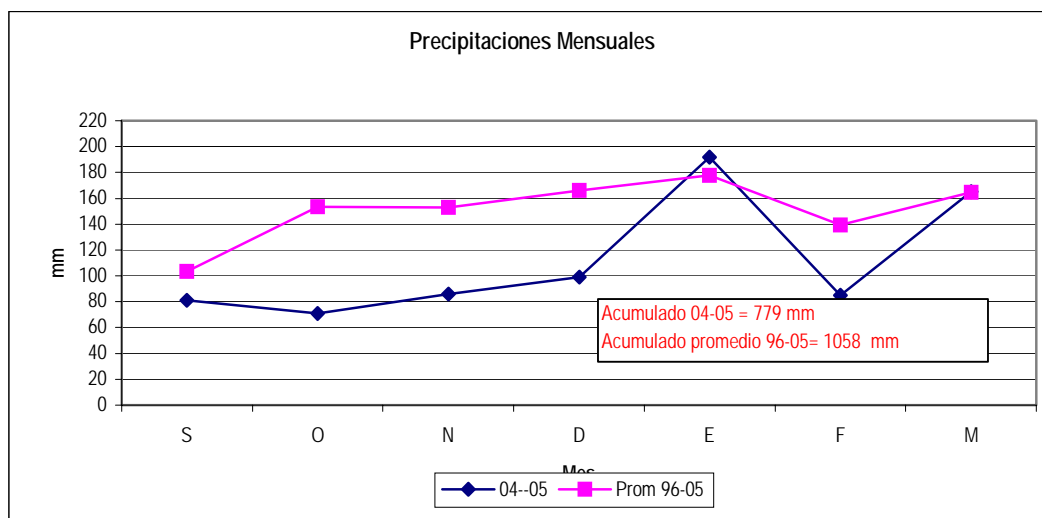
Cuadro 1

	Serie Histórica					Zafra 04-05				
	T.prom	T max	T. min	pp.	Pp efec.	T. prom.	T. max.	T. min.	pp	pp efec.
Set	15.7	21.8	9.7	103.4	82.8	17.2	24.2	10.1	81	65
Oct	18.7	24.6	12.8	153.7	122.9	18.5	25.4	11.6	71	57
Nov	21.2	27.3	15.0	152.8	122.2	20.9	27.3	14.6	86	69
Dic	23.7	29.9	17.4	166.0	132.8	24.3	31.3	17.2	99	79
Ene	24.8	31.0	18.6	177.9	142.3	27.2	35.3	19.0	192	154
Feb	23.9	29.6	18.1	139.4	111.6	25.1	30.8	19.3	85	68
Mar	22.9	28.5	17.3	164.7	131.7	22.1	28.3	15.8	165	132
Abr	18.4	23.6	13.2			17.9	22.9	12.9		
				1058	846				779	623

T. prom = temperatura promedio, °C. T. min = temperatura mínima. °C.
 T. max. = temperatura máxima, °C. pp. = precipitación, mm.
 ppefec. = precipitación efectiva, mm

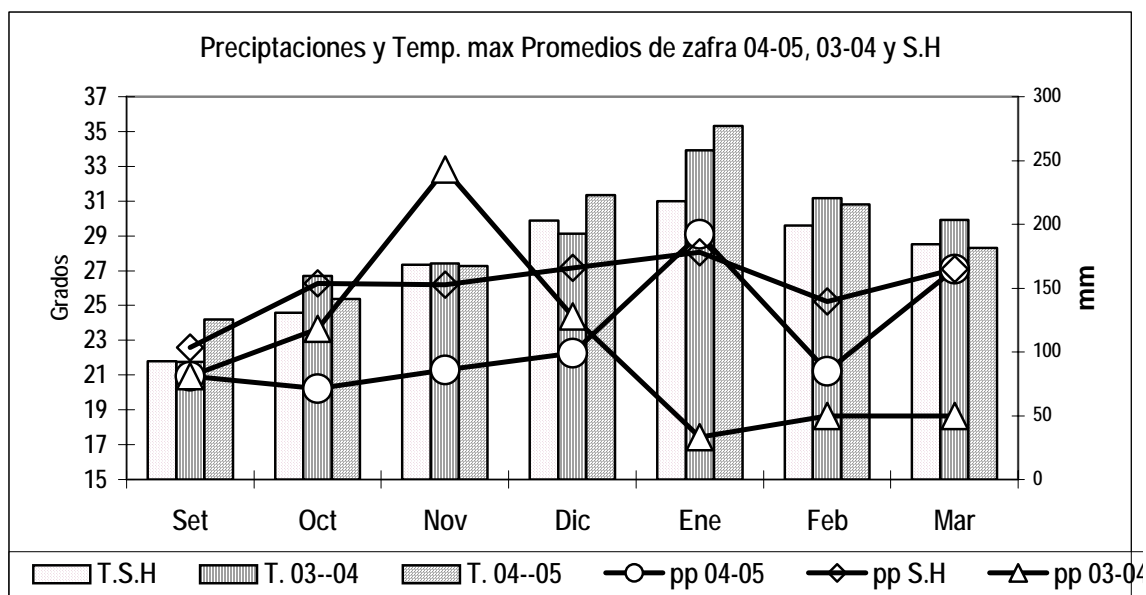
La precipitación efectiva se calculó como el 80 % de la precipitación mensual, en base a una de las sugerencias de cálculo de FAO, CROPWATW.

En la zafra 04-05 llovieron en el periodo del cultivo 779 mm (26% menos que el promedio histórico), gráfica 1.



Gráfica 1

En la gráfica 2 se puede observar las temperaturas máximas promedios y las lluvias acumuladas para los meses en cuestión, se ve que en la zafra pasada hubo 2 grados más que la zafra 03-04 y 4 grados más que el promedio en el mes de enero, esto llevó a que fuera mas difícil poder regar con la misma agua que veníamos regando. También se ve que en la zafra 03-04 donde llovió menos (< 70mm) que en la zafra pasada, no hubieron tantos problemas con la seca esto se debe a que el invierno de esa zafra fue mas benévolo y llenó las represas (llovieron 680mm contra 239 de la zafra pasada). Se prevé que los inviernos sean menos "llovedores" según los pronósticos de mediano y largo plazo, por lo tanto es de esperar que las represas NO siempre estén llenas. Una solución para NO ser tan dependientes de las lluvias y poder satisfacer las necesidades de agua de los cultivos, es mejorando la calidad del RIEGO (aumentando al eficiencia y mejorando la distribución).

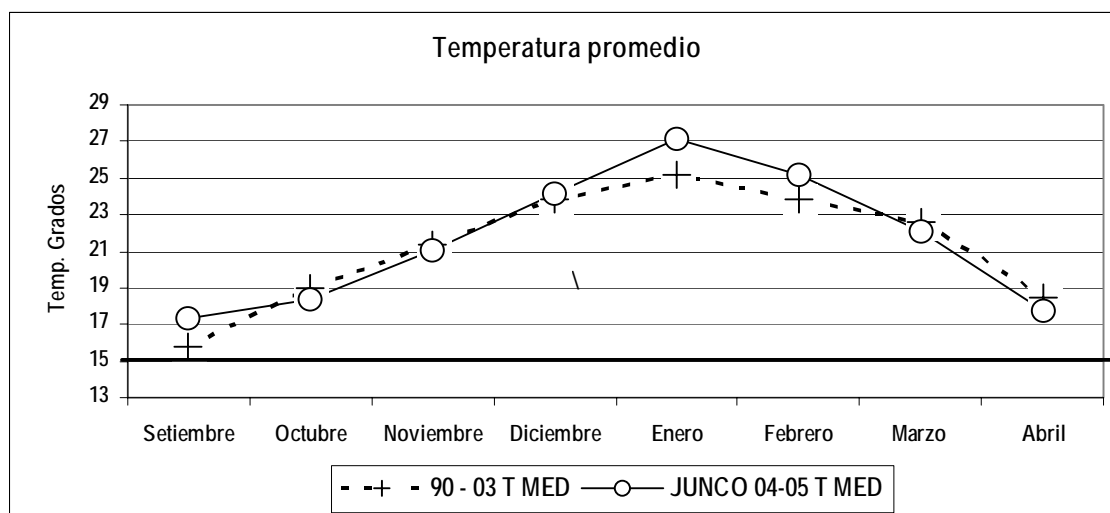


Grados = temperatura en grados Centígrados, °C; T.S.H = temperatura serie histórica; T = temperatura, ° C; pp = precipitación, mm; pp S. H. = precipitación serie histórica, mm.

Grafica 2

El arroz es primordialmente un cultivo tropical y subtropical pero los mejores rendimientos se obtienen en las regiones templadas donde se provee al mismo, de agua por medio del riego. Las características climáticas que limitan el rendimiento del cultivo en lo que respecta a temperatura son: temperatura por debajo de 15 °C (15-17, 17-19) 10 – 15 días antes de la emergencia de la panoja, causando esterilidad del grano de polen, temperatura por encima de 35 °C causando también esterilidad en la flor. Esto último NO está evaluado para nuestras condiciones, pero si se detecta en regiones cálidas de California, Tejas, etc.

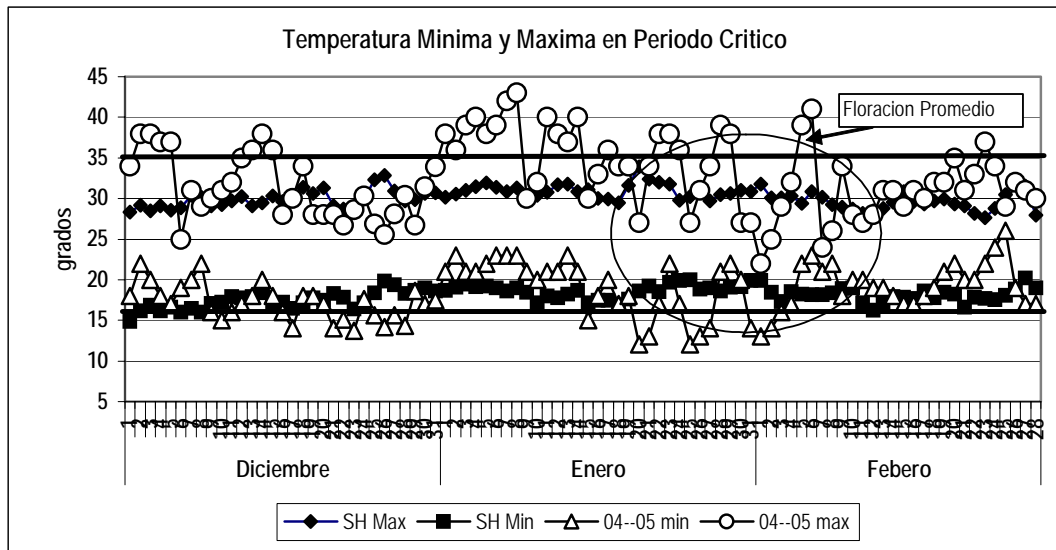
A continuación se presentan las temperaturas medias de los meses en los que se lleva a cabo el cultivo.



Gráfica 3

En la grafica 3 se puede observar como la zafra 04-05 fue una zafra promedio comparando con la serie histórica 90-03 (la diferencia es de tan solo 2 grados en enero), pero a medida que se va a información más detallada se puede observar que las diferencia de temperaturas fueron importantes ya sea máxima o mínimas.

En la grafica 4 se pueden observar las temperaturas máximas y mínimas para la zafra 04-05 y Serie histórica de 10 años. Se ve que donde se sitúa el promedio de las floraciones para esta región, hubieron altas temperaturas por encima de 35 grados y también bajas temperaturas por debajo de 15 grados. Lo anterior puede haber afectado los rendimientos ya que esa condiciones descritas producen esterilidad de los granos, y si a esto se le suma una deficiencia hídrica se acentúa mas, ya que en caso de altas temp, la planta frente a un stress hídrico cierra estomas para no perder agua y se compromete la estructuras celulares (integridad de las membranas) por aumento de la temperatura dentro de la planta; habitualmente no se toma en cuenta ese daño ya que donde se generó la mayor parte de la información que se tiene del cultivo no presenta problemas de temperaturas muy superiores a 35 grados.



Gráfica 4.

Nota: Periodo Crítico desde Primordio hasta la floración inclusive

D. Requerimientos Hídricos del Cultivo de Arroz

1. Sistema IRRIGA®¹

El Sistema Irriga® es un conjunto de servicios tecnológicos, de manejo y monitoreo del riego, creado, desarrollado y mantenido por un equipo de investigadores de la Universidad Federal de Santa Maria, Brasil. El Sistema Irriga® es un sistema práctico y único en Brasil, donde en su recomendación, lleva en consideración las informaciones del equipo de riego, planta (cultivo), suelo, clima y la interacción entre ellos.

El principal objetivo del Sistema Irriga® fue desarrollar un sistema de manejo de riego práctico, funcional y fácilmente aplicable en el campo. Con un adecuado manejo del agua de riego, los agricultores regantes pueden aumentar la productividad de los cultivos, además de tener un menor consumo de agua y energía.

Sus comienzos fueron en 1999 con un área de 540 hás. en Río Grande del Sur, en 2004 llega a monitorear en todo Brasil y Uruguay un total de 30.000 hás., abarcando entre otros cultivos maíz, maíz dulce, maíz para pop, sorgo, arroz, soja, poroto, trigo, cebada, algodón, café, arveja, tomate, cebolla, girasol, pera, uva de mesa y durazno. Con la infraestructura actual en estaciones meteorológicas, edificios, técnicos y desarrollo de software el Sistema Irriga® tiene capacidad para monitorear hasta 200.000 hás.

1.1 Funcionamiento

El Sistema Irriga® es una determinación práctica y eficiente de cuando regar y cuanta agua aplicar, también denominada de Programación del Riego. El principal objetivo de esta programación es el manejo de los riegos objetivando una mayor efectividad de los mismos. El agua debe ser aplicada con frecuencia suficiente para evitar el déficit de agua en la planta y en cantidades adecuadas para proveer el reabastecimiento de agua al suelo hasta la profundidad efectivamente explorada por el sistema radicular de las plantas.

¹ Ing. Agr. Claudio García

Actualmente, el Sistema Irriga® cuenta con un conjunto de 44 estaciones meteorológicas automáticas, denominadas de Plataformas de Colecta de Datos – PCDs, en Brasil y 03 en Uruguay. Todas esas PCDs envían los datos de 15 en 15 minutos para un servidor instalado en la Universidad Federal de Santa Maria (UFMS), en Río Grande del Sur.

Los datos meteorológicos colectados son automáticamente procesados en el lugar de la colecta por un sistema que filtra las informaciones que serán enviadas vía satélite para el servidor del Sistema Irriga®.

Los agricultores regantes, usuarios del sistema, ingresan al sistema a través de un de las direcciones de Internet (www.irriga.proj.ufsm.br, www.irrigabem.com.br, www.sistemairriga.com.br), y ahí pueden encontrar informaciones específicas sobre el manejo del riego de las áreas regadas por ellos. Las informaciones quedan disponibles diariamente (intervalo de 24 horas), detallando por cultivo y sistema de riego, cuando y cuanto regar, además de disponer de la previsión de ocurrencia de la necesidad de aplicación de agua vía riego para un período de 24 y 48 horas.

1.2 Manejo de datos con el Sistema Irriga®

El manejo de datos con los técnicos del Universidad de Santa Maria (Sistema Irriga®) es muy sencillo. En el establecimiento había una estación meteorológica que registraba los datos necesarios para el cálculo de requerimientos hídricos el cultivo, etc.

Estos datos se bajaban de la estación meteorológica por medio de un computador (procesador) todas las mañanas y se transmitían por Internet por medio de un programa especial a Santa Maria. Estos datos eran necesarios que fueron enviados antes de mediodía ya que sino Santa Maria tomaba los datos de otras Estaciones de referencia para los cálculos.

En base a los datos de la estación y los datos que nosotros le pasábamos de lámina aplicada y lluvia, Santa Maria daba una recomendación de cuando y cuanto regar.

2. Evapotranspiración de El Paso L-144

En la Zafra 04 -05 conjuntamente con INIA Las Brujas y la Universidad de Santa Maria, se calculó la Evapotranspiración de El Paso L-144 por medio del Servicio INIA – Santa Maria anteriormente descrita.

A continuación se presentan los requerimientos hídricos, gasto de agua, Evapotranspiración máxima (E_{tm}) de un Cultivo de Arroz Variedad EP L-144.

Fechas				
Siembra	Emergencia	Inicio de Riego	Fin de Riego	Cosecha
30- Septiembre	20- Octubre	11- Noviembre	28- Febrero	09- Marzo

Datos de cosecha: 8% Verde y 21% Hum.

Duración en días		
Riego	Emergencia- Fin de Riego	Emergencia- Cosecha
109	131	140

m ³ /ha				
Etm E-C	Etm E-FR	Etm IR-FR	Riego s/pp	Riego c/pp
6466	6295	5728	10733	14623

Nota: E= Emergencia, C=Cosecha, IR= Inicio de Riego, FR= Fin de Riego, s/pp= sin precipitaciones, c/pp= con precipitaciones

Como se puede observar en el cuadro anterior los requerimientos hídricos de este cultivo variedad EP L-144 en la pasada zafra fue de 6.300 m³/ha. Es de esperar que estos requerimientos no vayan mas allá de los 7.000 m³/ha sin importar las condiciones climáticas ya que si hay mas radiación y por consiguiente mas temperatura, el ciclo se acorta por lo tanto compensa los mayores valores de ETm con menos días de ciclo (2).

Por lo tanto cuando se calcula el área a sembrar en función de la disponibilidad de agua en las represas (agua embalsada) se utiliza normalmente el valor de 12.500 m³/ha. Utilizando este valor se estaría perdiendo potencial para regar mas área (lo que necesita el cultivo es un 56 % de lo que nosotros guardamos) y poder hacer el cultivo mas económico ya que se diluirían los costos fijos por estructuras de riego en mayor área.

Si afectáramos el requerimiento hídrico del cultivo cuando comienza el riego por una eficiencia de aplicación del 53% (mas adelante se vera porque), necesitaríamos sólo 10.800 m³/ha. En este caso estaríamos perdiendo de regar 0.16 has más por ha sembrada (podríamos sembrar un 16% mas de área).

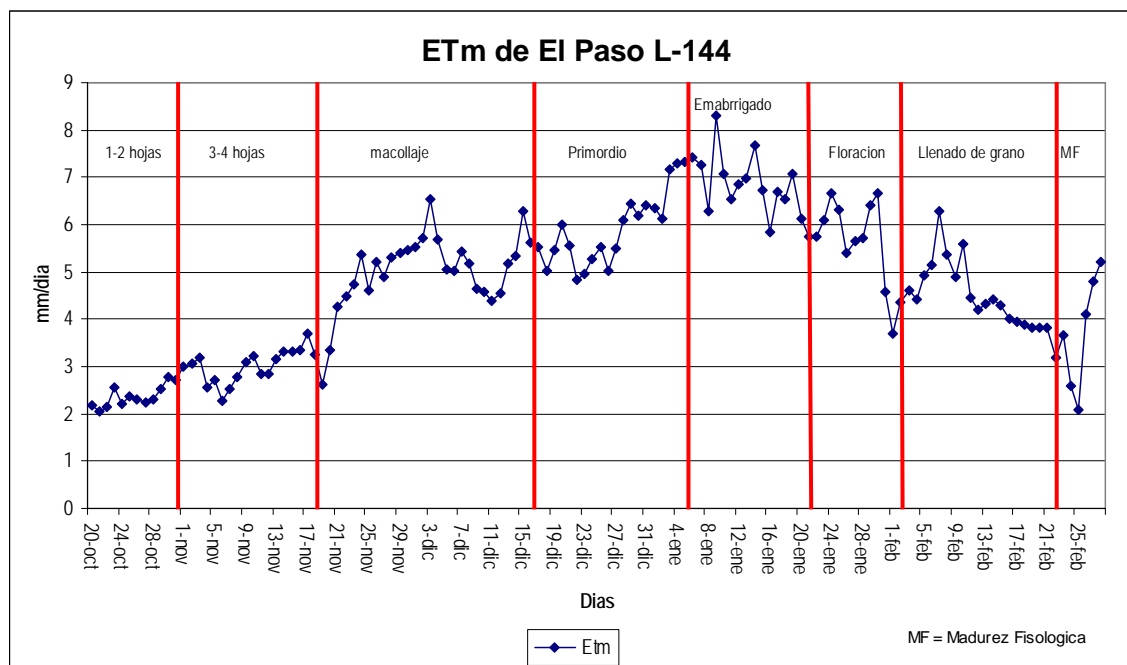
En lo que hay que hacer hincapié es en mejorar la eficiencia de aplicación a por lo menos un 65%. Esto es más importante en los casos donde los sistemas de riego tengan grandes extensiones de canales. Hay que buscar técnicas para minimizar las perdidas desde la represa hasta la chacra (se tiene datos de que éstas son del orden del 15%).

Con estos coeficientes, para las peores situaciones de demanda o ETm se habría que disponer de 12.800m³/ha. A los 7.000m³(ETm máx.) lo afectamos por una eficiencia de riego de 65% (valor a lograr) y tenemos en cuenta un 15% de pérdida en canales, el valor a almacenar es de 12.800m³.

En la gráfica 5 se puede ver los requerimientos del cultivo (mm/día), a lo largo de la estación de crecimiento. Se puede apreciar que el máximo valor de ETm es de 8.3 mm/día, como máximo necesitaríamos aplicar 83 m³/ha/día (lo que equivale a 0.96 lts/seg/ha). Por lo tanto manejando 1 lt/seg/ha en todo el ciclo estaríamos más que cubiertos.

² Documento y presentación de Ing. Agr. Claudio García, Roberto Do Campo y del Dr. Reimar Carlesso. El Junco 2005.

Evapotranspiración diaria y ciclo fenológico de El Paso L-144



Gráfica 5

Nota: información proporcionada por la Univ. De Sta. María con los datos de la estación meteorológica del junco.

En la grafica se puede observar que los picos de mayor demanda de agua ocurren cuando el cultivo concreta el potencial de rendimiento y por ende altamente susceptible a stress hídrico, desde primordio a floración.

E. Medición de Caudales.

1. Control de Represas

El control del gasto de agua y la administración de la misma en la empresa es muy riguroso. Aparte de llevar medido el caudal que se utiliza en los canales se llevan registros diarios de la altura de agua de todas las represas. Esto es lo primero que se hace en el día antes de ir a la chacra ya que es imposible pensar en regar sin saber con que volumen de agua se cuenta y cuanto se está consumiendo. El agua es el insumo más importante. El control diario de la represa es básico para conocer el saldo de agua en stock y no depender del clima (lluvia) para obtener buenos rendimientos. Podemos así suministrar la cantidad de agua que demande el cultivo en cada período.

En base a las alturas de agua en las represas y por medio de las ecuaciones de volumen respectivas de cada una, se calcula el gasto de agua diario (m³/ha). La precisión de esta metodología es suficiente teniendo en cuenta su finalidad de esta estimación. Por otro lado con esta información conocemos cabalmente lo que demanda el sistema en su conjunto. Esto comprende:

- cultivo propiamente, considerando la evaporación, transpiración, pérdidas laterales (escurrimiento superficial) y en profundidad (percolación)
- pérdida en canales por percolación lateral y profunda y evaporación
- evaporación de represas

Semanalmente se llevan a cabo reuniones donde se analizan los gastos de agua por represas y sistema ($\text{m}^3/\text{ha}/\text{día}$), los días que faltan para terminar el riego, y el volumen de agua embalsada disponible. En base a esto y a otras variables como control de malezas, aplicaciones de urea, salidas del personal, etc. se elabora una estrategia de riego (planificación del mismo) que abarca un período no mayor a los próximos 10 días. En la misma se definen los gastos diarios hasta fin de dicho período de riego, o sea volumen de agua que debe salir de la represa por día ($\text{m}^3/\text{ha}/\text{día}$). Esto es luego debidamente controlado para evitar sorpresas, como que la represa se termine vaciando más rápido de lo previsto. Estos gastos diarios definidos en la planificación, son siempre suficientes para satisfacer los requerimientos hídricos del cultivo. Se manejan gastos de entre 80 – 160 $\text{m}^3/\text{ha}/\text{día}$ dependiendo del sistema y situación. Aproximadamente 80 – 120 m^3 son sólo para poder regar (demanda del cultivo, ETP + pérdidas del sistema). Cuando se define un gasto mayor es por algún objetivo extra riego definido (malezas, ureas, etc.)

Es necesario llevar rigurosamente la variación en la altura de agua de las represas por el efecto de las lluvias, ya que sino se tuviera en cuenta este tipo de información y se tomara solo la altura de la represa a inicio y fin de riego (o en intervalos más cortos pero con lluvias en el medio) no representa el gasto real de agua que se está teniendo. Para un adecuado control del gasto de la represa es necesario un control frecuente (diario es el ideal) para descontar las variaciones de la altura de la represa dado por lluvias. Ver Anexo 1. Por más que no haya escurrimiento cada vez que llueve la represa sube. Si en enero llueven 40 mm por ejemplo, probablemente no hay escurrimiento, pero la represa sube 4 cm y generalmente es más de lo que baja en un día de riego. Esto obliga a considerar estos 4 cm al estimar el gasto de agua del sistema...

2. Medición de Caudales en Canales

2.1. Método del Flotador.

No es posible poder realizar un riego tecnificado si no se saben los caudales que se manejan fuera de la chacra (canales), como dentro de ella (regaderas). Para esto es necesario tener métodos sencillos de mediciones de caudales en conducciones abiertas (canales) como en cerradas (cañerías).

En el establecimiento para un buen control del agua se miden constantemente (diariamente) los caudales que se manejan. Al no tener en esta zafra suficientes aforadores para tener un dato exacto de caudales, se utiliza hace tiempo para la medición de los mismos el método del flotador. Es un método que se aplica cuando no se dispone de otros instrumentos de medición de caudal. No obstante es adecuado para hacer una estimación a campo con muy pocos elementos disponibles.

Ver Anexo 2.

2.2. Variante del Método del flotador.

Para el ancho se toma como referencia el "ancho en que corre el agua"; para la profundidad se realizan varias medidas (cada 20cm) a lo largo de ese ancho y se saca un promedio. Con estos datos se determina la sección del canal.

3. Método de aforador "Sin Cuello".

Fueron construidos en esta zafra por sugerencia del Dr. Reimar Carlesso, para medir caudales tanto en canales como en regaderas.

Están diseñados en chapa y poseen determinadas medidas, que permiten a través de la lectura (en centímetros) de la profundidad del agua a la entrada (Ha) y a la salida del aforador (Hb), determinar por medio de una tabla de calibración, el caudal (m³/s) que está pasando en ese momento.

Es un aforador al que se debe considerar su grado de sumergencia, la relación lectura aguas abajo, Hb, y lectura aguas arriba Ha. Si Hb/Ha es menor o igual a 0.75, estamos frente a condiciones de "flujo libre" y por lo tanto, solamente con una lectura (Ha) es suficiente para conocer el caudal. Por el contrario si Hb/Ha es mayor a 0.75 el flujo es "sumergido" y el factor de lectura se ajusta según las lecturas Hb y Ha. Se construyen, los aforadores de diferentes dimensiones según el caudal que se requiera medir, son muy prácticos y, si cumple con las medidas establecidas, son de buen nivel de precisión.

Ver Anexo 3.

4. Medidor de Agua Totalizador Volumétrico.

Fueron provistos por INIA Treinta y Tres y utilizados en el ensayo de riego (15 ha) para el registro de volumen de entrada y salida de agua a la chacra. Los mismos cuentan con una hélice y un "contador", similar al utilizado en las casas familiares de las ciudades. El registro es en metros cúbicos acumulativos. En la práctica el aforador debe trabajar a "caño lleno" para hacer una buena lectura y además se le debe colocar algún tipo de malla protectora cerca de la entrada para evitar que algún obstáculo (terrón o palos), obstruyan la hélice.

En el aforador de entrada a la chacra el máximo caudal medido fue de 40 l/s comparado con el aforador "sin cuello".

F. Manejo del Riego.

1. Intermitencia de la Inundación.

La intermitencia de inundación se logra inundando primero, luego se corta la entrada de agua al cuadro y se deja infiltrar hasta un punto de saturación, a partir del mismo se vuelve a inundar.

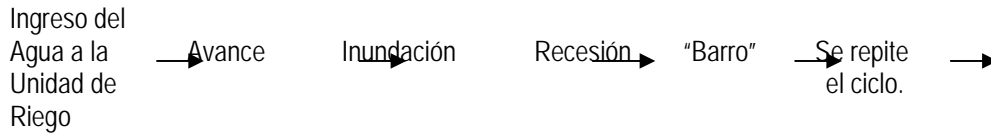
1.1 Descripción de la aplicación del riego.

Desde la reguera el agua avanza en el primer cuadro y pasa al cuadro siguiente a través de estructuras hidráulicas llamadas boquetes. Así cubre la unidad de riego de unas 10 – 15 taipas. Los boquetes son vertederos en tierra en la taipa inferior del cuadro de 30 cm. de escotadura construidos a pala.

Al movimiento de escurrimiento inicial del agua en superficie se le llama *avance*. Desde el boquete el agua avanza hasta la taipa inferior. Al llegar a la taipa inferior comienza a embalsar. Aquí comienza la fase de *inundación* hasta que llena el último cuadro de la unidad de riego. A partir de cierto tiempo se infiltra el agua embalsada y comienza a emerger la superficie del cuadro nuevamente dando inicio a la fase de *recesión*. Cuando el estado de humedad de la superficie del suelo donde comenzó la recesión, llega al estado de "barro" se

debe reiniciar el ingreso del agua a la unidad de riego nuevamente.

Esquemáticamente es:



El estado hídrico del suelo está siempre por lo menos en saturación, en estas condiciones no hay pérdidas de potencial de producción. ³

A la diferencia entre el tiempo de avance y el tiempo de recesión se le conoce como tiempo de oportunidad (T_o) de la infiltración. Es el tiempo que el agua de superficie tiene para infiltrar.

2. La Propuesta de Riego

En el riego de inundación intermitente que se realiza en el Junco se trata de mantener el suelo en saturación o muy próximo. El esfuerzo operativo se centra en llegar con el agua a tiempo al cuadro de riego para reponer la lámina. Los tiempos de reposición de lámina contando desde la compuerta de acceso de agua a la unidad de riego, están determinadas por las curvas de infiltración para el rango de suelo de cada zona, por la pendiente y la resistencia al avance del flujo de agua en superficie.

Las dimensiones físicas de las unidades de riego son las que definen el caudal de entrada de agua a la unidad. De manera que hay un rango de caudales para cada zona según la preparación de tierras y tamaño de los cuadros. Cuando el tiempo de avance del agua en la unidad de riego llega al 75% del tiempo total para avanzar hasta el fondo de la unidad, se corta la entrada y se cambia el caudal a otra unidad de riego.

Para una chacra de aproximadamente 100 has (es lo que riega un aguador) se divide en tres sub-chacras de poco más de 30 has cada una. Estas sub-chacras se manejan cada una con un caudal independiente de agua, por lo tanto el aguador maneja 3 entradas de agua separadas. El aguador está obligado a recorrer toda la chacra ya que tiene que ir a hacer los cambios de agua en las regaderas, esto le permite detectar a tiempo **eventuales** desajustes en el manejo del agua (taipas o rondas rotas, área que infiltran más que otras o menos) y ver la evolución de las malezas, plagas, etc.

A continuación se presentan el caudal manejado por el aguador en cada sub chacra, y la forma de aplicación del agua.

- ✚ Sub-Chacra 30 has
- ✚ Caudal 33 lts/seg
- ✚ Unidad de riego 0.5 ha (abarca el área entre dos regaderas y no más de 16 taipas, es el área mínima de entrada de agua)
- ✚ Requerimientos del cultivo 8 mm/día => en 3 días⁴ 24 mm (se hace la estimación para los días de mayor ET_m, demanda máxima)
- ✚ Infiltración 0.17 mm/hr en 3 días (30 hrs⁵) = 5.1

³ Mao Zhi (Wuhan University), Water efficient irrigation and environmentally sustainable irrigated rice production. Bouman (IRRI) Field water management strategies in rice production.

⁴ Se está asumiendo acá el máximo de ET_m por lo tanto en periodos de menor demanda sería menor el caudal

⁵ Se toma en total 24 horas de infiltración porque no se está metiendo agua constantemente por lo tanto no se está infiltrando todo el tiempo. Llegan un momento que la infiltración cesa o se hace menor

- 🚧 Total aplicado = 29.1 mm
- 🚧 Objetivo dar "la vuelta" en 3 días (volver a inundar cada unidad de riego estando el suelo como mínimo saturado, ideal barro)
- 🚧 Software utilizado GW Basic QPT. Basic

En base a estos datos se puede ver que tendríamos 60 unidades de riego y se tienen que regar 20 unidades por día (10 has), esto nos lleva a que tenemos que regar una unidad de riego en 1.2 hrs.

Usando el programa para el cálculo llegamos a que se necesita un caudal de 33 lts/seg, para regar una unidad de riego en ese tiempo. Se tendría que aplicar, si regáramos cuadro por cuadro ese caudal por 4.5 min., para poder regar los 16 cuadros en ese tiempo (se considera un ancho promedio de 3.0 mts).

Entonces, aplicando 33 lts/s durante 1.2 hrs en una unidad de 0.5 has con las características de suelo planteadas (infiltración y profundidad) aplicamos la cantidad de agua necesaria para satisfacer la demanda del cultivo por tres días. Por otro lado, si tenemos en cuenta que esta estimación es para los días de máxima ETm, los días de ETm promedio (aproximadamente 5.2 mm para nuestra zona), con el mismo caudal se acumula agua en la chacra. Los días con lluvias se aprovechan para llenar la chacra con agua de lluvia y NO de la represa.

En cuadro 5 se calculan los caudales que se necesitan según el estado fenológico. Se puede ver como el caudal máximo que se requiere para el riego es de 1,2 lts/seg/ha.

Infiltración (mm en 3 días)	12,24
Tiempo de riego (hrs)	1,2
Area (m ²)	5000

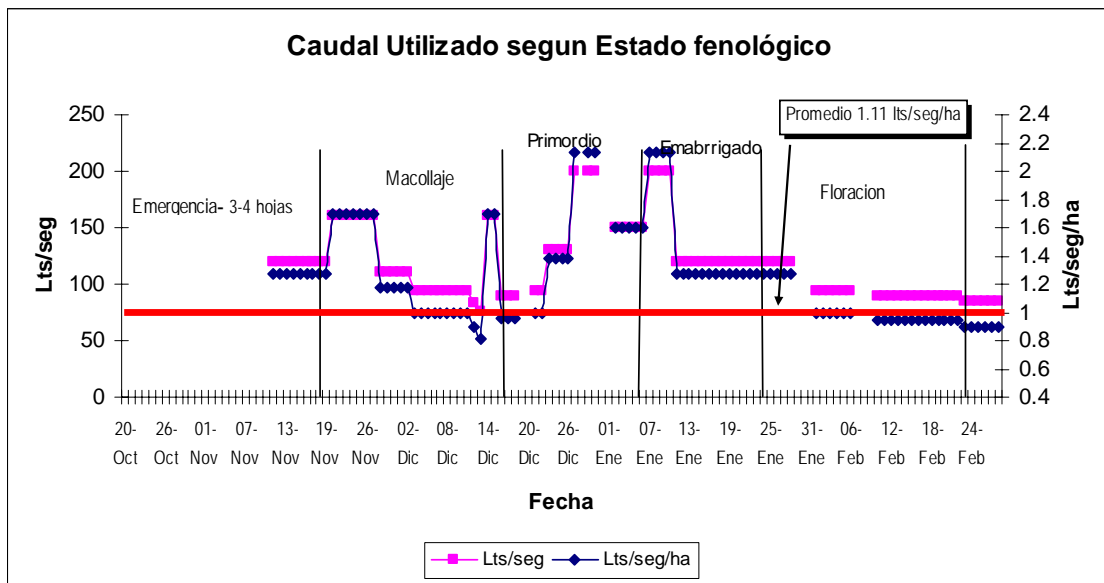
Estado	Long. Periodo	Días Riego	Etm prom	Etm Acumulada del periodo	Lamina a Aplicar por Riego	Caudal (lts/seg)	Lts/seg/ha
1-2 hojas	11	0	2,38	0	19,38	22	0,7
3-4 hojas	19	9	2,98	27	21,18	25	0,8
Macollaje	28	28	5,12	143	27,6	32	1,1
Primordio	20	20	6,05	121	30,39	35	1,2
Embarrigado	17	17	6,68	114	32,28	37	1,2
Floración	11	11	5,46	60	28,62	33	1,1
Llenado de Grano	21	21	4,33	91	25,23	29	1,0
M.F	14	4	4,05	16	24,39	28	0,9
	141	110		572			1,01

Los 33 lts/seg equivalen a 1.1 lts/seg/ha, esto fue el gasto promedio de una chacra en la empresa para la zafra 04/05, obteniéndose un buen rendimiento. Con este caudal (constante durante todo el ciclo de riego, 110 días) llegamos a gastos total de agua de menos de 10.500 m³/ha. Los desvíos a este valor se dan por razones extra riego, sea para mejorar el control de herbicidas en chacras problemas, aplicaciones de Urea, etc.

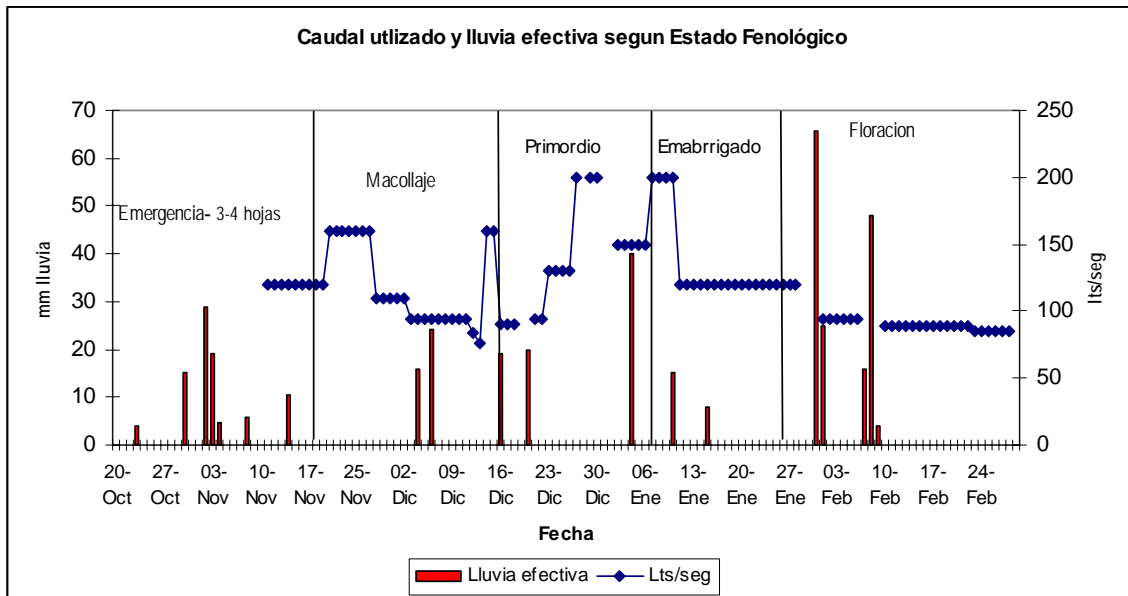
Por otro lado, si tenemos en cuenta que durante esos 110 días de riego, hay lluvias (se dan por lo menos 2 días de lluvias de más de 20mm por mes), y *promediando correctamente la demanda ETm se puede llegar a gastos por debajo de 10.000m³/ha.*

3. Aplicación de riego a un caso concreto de chacra

A continuación se muestra en la gráfica 6, el manejo del agua que se le realizó a una chacra de 94 has. Rendimiento obtenido 176 bolsas equivalentes en grano seco y limpio (bol S&L).



Gráfica 6



Gráfica 7

Como se puede observar en las graficas anteriores (6 & 7) en todo el transcurso del ciclo del cultivo se aplica en promedio (línea roja horizontal) 1.1 Lts/seg/ha, más agua de lo que el cultivo necesita (1 Lts/seg/ha). Solo en algún

caso se aplicó menos, pero si se ve en la gráfica 7 se puede ver que coincide con lluvia, o con etapas de menos requerimientos del cultivo y de menor evaporación de la lámina de agua.

G. INDICADORES

1. Humedad del suelo.

La máxima producción de arroz se obtiene manteniendo niveles de humedad del suelo por encima de capacidad de campo. Como indicadores de humedad para definir momentos de reiniciación del riego se utilizaron criterios a campo como determinaciones al tacto y visual. La apreciación visual más común es cuando llegue a barro hay que regar nuevamente. Se emplearon además tensiómetros a 20 cm y se iniciaba el riego cuando se leía 8 centibares⁶. Un elemento de pronóstico utilizado en el mismo sentido fueron los proporcionados por el servicio INIA –Santa María mediante computadora.

En el sistema de riego utilizado por El Junco es muy importante poder determinar con que frecuencia volver con el agua a cada unidad de rotación, antes de que esta sea limitante para el cultivo. Para ello debemos de buscar la manera de poder estimar la humedad del suelo y así tomar como referencia un determinado umbral de riego.

El contenido de humedad del suelo puede ser medido mediante métodos gravimétricos, equipos de extracción de humedad del suelo, medidores de humedad del suelo, piezómetros, y aspersores de neutrones. Pero en la práctica debemos valernos de un método más sencillo, aunque quizás menos preciso pero, que nos permita tener una estimación cercana de ese contenido de humedad, como lo es por ejemplo, el método del "sentir a mano".

Este método se realiza tomando, con un taladro de suelo, muestras de los diferentes estratos del mismo y luego apretando con la mano un puñado de cada una, estimando el contenido de humedad como se indica el Anexo. Esta técnica se comenzó a implementar en El Junco en esta zafra, y requiere de mucha práctica para ir adquiriendo cada vez más precisión. También en esta temporada fueron implementados tensiómetros como otra alternativa para poder determinar el contenido de humedad del suelo. Estos fueron ubicados en aquellos lugares donde el tiempo de recesión era menor y como umbral de riego se tomó el valor de 8 centibares, recomendado por el Ing. Claudio García (INIA "Las Brujas"⁶).

2. Flujo de agua en superficie.

El agua se distribuye en unidades de riego que toman el agua desde un canal secundario o terciario (regaderas). La unidad de riego es de 0.5 ha aproximadamente contiene entre 10 y 15 taipas.

A continuación se describe brevemente la metodología de estudio de campo. Se realizaron ensayos de riego en varias situaciones de campo. Aquí se presentan dos de aquellas situaciones de cultivo en zona Mburucuyá y en Levante Clarestino. La zona de Mburucuyá es de relieve casi plano a levemente ondulado de zona baja en otro sitio la zona del Levante Clarestino pertenece al sistema de paisaje típico de la zona del basalto, en ladera alta e interfluvios mesetiformes. El caudal de riego de Mburucuyá fue de 60 l/s y en el Levante de 30 l/s. En cada caso se estudiaron las características del avance y resultaron las ecuaciones siguientes:

⁶ Documento de trabajo Ing. Agr. Claudio García, Dr. Roberto Docampo y Dr. Reimar Carlesso. El Junco 2005.

Mburucuyá: $x = 13.8 T^{0.3333}$

Levante $x = 4.0 T^{0.75}$

x= distancia desde la cabecera, en metros.

T= tiempo de avance, en minutos

Las distancias a recorrer por el agua eran de 60 metros en Mburucuyá y se 150 metros en el Levante. De las ecuaciones de avance anteriores se despeja tiempo resultando los tiempos de avance de 82 minutos para Mburucuyá y de 125 minutos para el Levante.

Ver croquis del área de mediciones en anexo 5.

Con esos tiempos se ingresa a la ecuación de infiltración siguiente:

$$D = 0.3388 t^{0.3433} \quad (6)$$

donde D: lámina infiltrada en centímetros y t tiempo en minutos.

Las láminas obtenidas fueron de 15 mm para Mburucuyá y de 18 mm para el Levante.

3. Resultados.

3.1 Eficiencia de aplicación en chacra

La eficiencia de aplicación (E_a) es la relación entre la demanda neta del cultivo y el caudal aplicado, expresado en porcentaje. La demanda neta del cultivo se obtuvo del informe diario INIA-Santa María y el balance de agua por chacra. El caudal aplicado se midió de diferente manera por estimaciones y por medio de aforadores. En promedio se midieron eficiencias de aplicación del 53%.

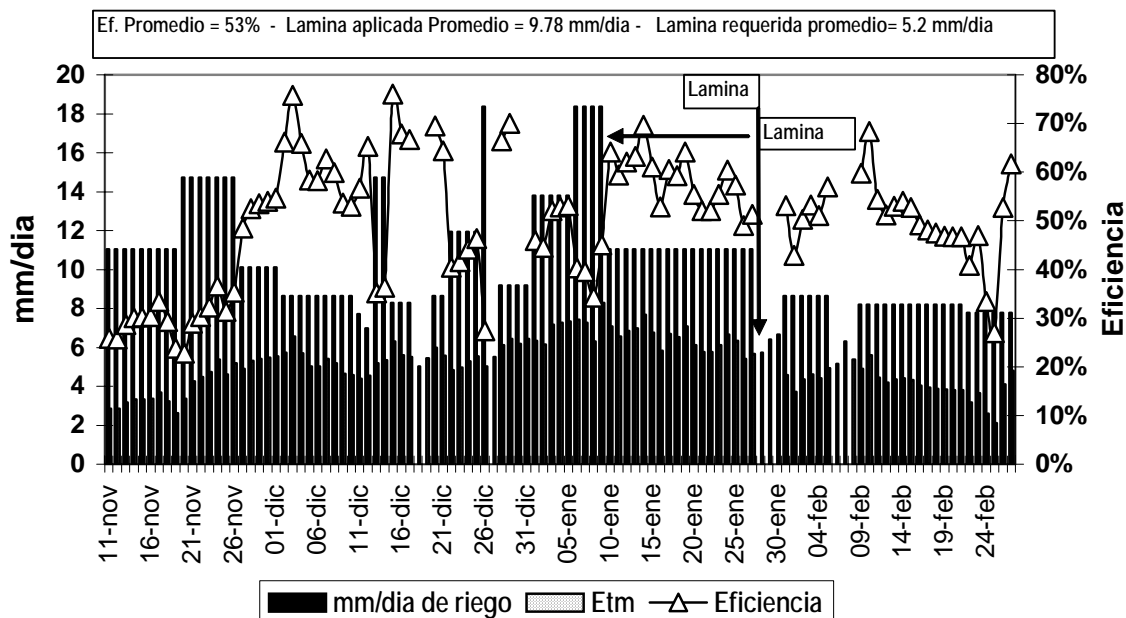
Para los suelos de las características de El Junco se obtuvo una tasa de infiltración de 0.17 mm/hr lo que nos lleva a que en un riego de 2616 horas perdamos por infiltración 4447 m³/ha. Estas pérdidas representan un alto porcentaje (40%) de lo que aplicamos por lo tanto tenemos que ver como se pueden disminuir las mismas ya que eliminarlas sería imposible.

Una forma de disminuir las pérdidas es controlar los tiempos de infiltración. Haciendo riegos más rápidos, y trasladando el caudal a otro sitio, dejando infiltrar sólo la lámina requerida.

En la siguiente gráfica se puede observar la lámina requerida por el cultivo y la aplicada. Con estos datos se estimó la eficiencia de riego (aplicación). Se requiere una lámina promedio de 5.2 mm/día y se aplica en promedio una lámina de 9.87 mm/día. En esta chacra se obtuvo una productividad del agua de 0.81 Kg/m³de agua.

⁶ Documento de trabajo Ing. Agr. Claudio García, Dr. Roberto Docampo y Dr. Reimar Carlesso. El Junco 2005.

Lamina aplicada y requerida por el cultivo y eficiencia de riego



La eficiencia promedio de riego fue de 53 % valor de por si interesante pero que debe mejorarse haciendo del riego del arroz un riego más tecnificado y menos artesanal

3.2 Coeficiente de Uniformidad.

Otro indicador empleado fue la uniformidad de distribución. Este relaciona el promedio del cuarto inferior de lámina al promedio general de lámina aplicada. Se midieron valores de 84%, partiendo de suelos a capacidad de campo. En términos biológicos éste es mejor indicador porque habla de la lámina en la zona radicular y que es un punto muy importante en el riego por inundación intermitente empleado en El Junco.

3.3 Productividad del agua

Al indicador de productividad del agua en El Junco se lo utiliza aquí como ejemplo para comparar entre distintas fuentes. Se estudian en 6 fuentes de agua.

Para cada fuente se toma el consumo de agua desde cada fuente y la producción de arroz equivalente seco y limpio de cada chacra. Con esa información se elabora el cuadro siguiente:

Fuente de agua	Bolsas/ha	(%)	m ³ agua/bolsa	(%)	grs arroz/ kg agua	(%)
	1	2	3	4	5	6
A	145.1	84	89.1	146	0.56	68
B	168	97	91.4	150	0.55	67
C	109.3	62	106.9	176	0.47	57
D	130.1	80	78.8	129	0.63	77
E	130.1	76	109.2	179	0.46	56
F	172	100	60.9	100	0.82	100

%; porcentaje; há: hectárea; m³: metros cúbicos; grs.: gramos de arroz
(*). Se asume una bolsa de 50 Kg.

Del cuadro anterior se interpreta que además de la disponibilidad del agua hay otros factores que inciden con mucha importancia en la producción. La columna 6 muestra que el sitio F está por lejos por encima de la productividad de los otros sitios. El caso B está solo 3% menos (columna 2), en bolsas por hectárea que el caso F, sin embargo utiliza 50% mas de agua (columna 4). Con la fuente C se logra solo el 62% de la producción (columna 2), o sea un 38% menos que F (columna 2). Sin embargo utiliza 76% más de agua (columna 3).

En conclusión, hay factores que inciden más que la disponibilidad de agua. El simple de hecho de tener agua en las represas y, o que esta entre a la chacra no asegura buenos riegos y tampoco altos rendimientos.

G. Conclusiones.

1. Es posible maximizar la producción de arroz, maximizando la productividad del agua. Se pueden obtener buenas cosechas con bajos gastos de agua.
2. Se mejora notoriamente el control del riesgo de contaminación ambiental
3. La demanda de controles, evolución y seguimiento de las chacras promueve una mayor tecnificación agrícola.
4. Se baja la incertidumbre, al bajar la dependencia climática durante el riego.
5. Permite desarrollar cultivos alternativos bajo riego

H. Agradecimientos.

El equipo técnico de esta presentación agradece a Donistar S. en C. por proporcionar su información empresarial y metodología a esta reunión. Especialmente se agradece a los técnicos del INIA y Universidad de Santa María por su apoyo en todos lo aspectos manejados en esta presentación que hicieron al buen resultado productivo. Destacamos a las personas Ing. Agr. Claudio García; Dr. Roberto Docampo; Dr. Reimar Carlesso (Universidad de Santa María); Dr. Alvaro Roel, M.Sc. Andrés Lavecchia; Ing. Agr. Julio Méndez y a los directores de las Direcciones correspondientes de INIA Las Brujas, Tacuarembó y Treinta y Tres.

Anexo 1 . Registros en Represa Tres Marías.

Represa: Tres Marías

Altura Canal (Pelo de Agua): 3,60

88

Fecha	2,14 H Regla	H agua	Lluvia mm	Agua mts ³	Has Riego	mts ³ /día	119 mts ³ /DIA/Ha	9.594 mts ³ /ha
23-Dic	3,43	4,06		3.257.031	455	14.877	33	5.526
24-Dic	3,40	4,03	10	3.199.235	455	57.796	127	5.653
25-Dic	3,37	4,00		3.142.009	455	57.226	126	5.779
26-Dic	3,33	3,96		3.085.352	455	56.657	125	5.904
27-Dic	3,31	3,94		3.046.461	455	38.891	85	5.989
28-Dic	3,27	3,90		2.977.991	455	68.470	150	6.140
29-Dic	3,24	3,87		2.927.201	455	50.790	112	6.251
30-Dic	3,21	3,84		2.876.893	455	50.309	111	6.362
31-Dic	3,17	3,80		2.810.561	455	66.331	146	6.508
01-Ene	3,17	3,80		2.810.561	455	0	0	6.508
02-Ene	3,17	3,80		2.810.561	455	0	0	6.508
03-Ene	3,17	3,80	50	2.810.561	455	0	0	6.508
04-Ene	3,14	3,77		2.761.372	455	49.189	108	6.616
05-Ene	3,14	3,77		2.761.372	455	0	0	6.616
06-Ene	3,13	3,76		2.745.082	455	0	0	6.616
07-Ene	3,09	3,72		2.680.452	455	64.630	142	6.758
08-Ene	3,05	3,68		2.621.424	455	59.028	130	6.887
09-Ene	3,02	3,65	18	2.563.120	455	58.304	128	7.016
10-Ene	2,98	3,61		2.505.538	455	57.582	127	7.142
11-Ene	2,94	3,57		2.448.676	455	56.862	125	7.267
12-Ene	2,91	3,54		2.392.532	455	56.143	123	7.390
13-Ene	2,87	3,50		2.337.106	455	55.427	122	7.512
14-Ene	2,83	3,46	10	2.280.926	455	56.180	123	7.636
15-Ene	2,79	3,42		2.226.947	455	53.979	119	7.754
16-Ene	2,76	3,39		2.173.680	455	53.267	117	7.871
17-Ene	2,72	3,35		2.121.123	455	52.557	116	7.987
18-Ene	2,68	3,31		2.069.274	455	51.849	114	8.101
19-Ene	2,65	3,28		2.018.131	455	51.143	112	8.213
20-Ene	2,61	3,24		1.967.693	455	50.438	111	8.324

Anexo 2.

Método del Flotador

Para poder calcular el caudal con el método del flotador se usa la ecuación de continuidad.

$$Q = A \times V$$

Donde: Q = Caudal en metros cúbicos por segundo, m³/s.
A = Sección del canal en metros cuadrados, m².
V = Velocidad del agua en metros por segundo, m/s.

Metodología.

1. Se debe obtener la sección promedio del canal, esta se obtiene por ejemplo de la siguiente manera: Se marcan 10 metros a lo largo del canal (elegir un lugar homogéneo del mismo), en el metro cero tomamos el ancho del canal y cada 20 cm tomamos la profundidad (ej. En 5 m de ancho 25 medidas de profundidad.), se saca la profundidad promedio y con esta la sección del canal en este lugar. En el metro 10 de la marca se repite el mismo procedimiento de esta manera se obtienen 2 secciones y se saca la sección promedio del canal y es la que se utiliza en la ecuación anterior.
2. Se debe obtener la velocidad del agua. Para esto se toman 10 medidas de velocidad con un flotador por ejemplo una botella llena de agua y piedras para que se hunda por lo menos más de la mitad sin que toque el fondo del canal. Estas 10 medidas tienen que ser distribuidas a lo largo del ancho del canal, con estas medidas se obtiene la velocidad promedio.

Como la velocidad del agua en un canal no es homogénea y en este caso está influenciado por condiciones del canal, profundidad del agua, vegetación, etc.. Es necesario corregir por un factor que depende de las condiciones, y varía entre 0.66 y 0.8 (Water Measurement Manual U.S. Dep. Interior Bureau of Reclamation, USA).

Entonces la ecuación de continuidad nos quedaría de la siguiente manera.

$$Q = C \times A \times V$$

Donde: Q = Caudal en metros cúbicos por segundo, m³/s.
C = Factor de corrección de la velocidad (0.66 -0.8)
A = Sección del Canal en metros cuadrados, m².
V = Velocidad del agua en metros por segundo, m/s.

Anexo3. Aforador "Sin Cuello "



Anexo 4. Interpretación práctica de la humedad del suelo

Interpretación práctica de humedad del suelo para varias texturas y condiciones.

Humedad disponible en el suelo	Sentir o apariencia del suelo			
	Suelos con textura gruesa	Suelos con textura moderadamente gruesa	Suelos con textura mediana	Suelos con textura fina y muy fina
0%	Seco, suelto, granos cingle, corre entre los dedos	Seco y suelto, corre entre los dedos	Seco polvoroso, a veces con capa que se rompe fácilmente para formar polvo	Duro "tostado" y agrietado, a veces con granules en la superficie
50% o menos	Parece estar seco; no forma "bola" al apretarla(1)	Parece estar seco; no forma "bola" al apretarla(1)	Más o menos tiende a desmigajarse, pero se retiene cuando se aprieta	Más o menos flexible, forma bola cuando se aprieta
50 % a 75%	Parece estar seco; no forma "bola" al apretarla(1)	Forma bola cuando se aprieta pero casi nunca se retiene su forma	Forma bola cuando se aprieta, mas o menos plástico, se hace liso bajo presión liviana	Forma bola, hace "cinta" apretado entre el pulgar y el dedo índice
75% a capacidad de campo	Se pega, junta ligeramente, a veces forma bola con presión	Forma bola que se rompe fácilmente, no se pone liso	Forma bola, muy flexible, se hace liso fácilmente si es relativamente alto en contenido de arcilla	Hace "cinta" apretado entre el pulgar el dedo índice, siente muy liso.
Capacidad de campo (100%)	Cuando se aprieta no aparece agua "libre" en el suelo pero si deja mojada la mano	Igual a los suelos con textura gruesa	Igual a los suelos con textura gruesa	Igual a los suelos con textura gruesa
Mayor a capacidad de campo	Agua "libre" aparece en la superficie de suelo cuando se rebota en la mano	Agua "libre" se suelta cuando hace acción de amasado	Sale agua libre cuando se aprieta	Se pierde su forma, se forma agua libre en la superficie

(1) La "bola" se forma por apretar un puñado de suelo firme.

Fuete: Manual Nacional de Ingeniería, SCS, USDA, Sección 15, Cap.1.

Anexo 5. Salida GPS área de riego del Levante de Clarestino.

