

**UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA**

**FACULTAD DE AGRONOMIA**

**DETERMINACION DE LOS COMPONENTES DEL CONSUMO DE AGUA  
DE RIEGO EN ARROZ EN LA ZONA NORTE**

Por

**Juan ARBIZA SOTO  
Raúl INETTI PERES**

**TESIS presentada como uno de  
los requisitos para obtener el  
título de Ingeniero Agrónomo.  
Orientación Ganadero Agrícola**

**MONTEVIDEO  
URUGUAY  
1999**

Tesis aprobada por:

Director: Ing. Agr. Julio Pannone  
**Nombre completo y firma**

Ing. Agr. Andrés Lavecchia  
**Nombre completo y firma**

Ing. Agr. Mario García  
**Nombre completo y firma**

Ing. Agr. Pablo Durán  
**Nombre completo y firma**

Fecha : 21/7/99

Autor: Juan Arbiza Soto  
**Nombre completo y firma**

Raúl Inetti Péres  
**Nombre completo y firma**

|   |  |    |
|---|--|----|
| 1 | Necesidades de agua del cultivo en la zafra 1983-84  | 2  |
| 2 | Consumo de agua en chacras comerciales   | 3  |
| 3 | Consumo de agua en cultivos de arroz en las áreas irrigadas del sur de Nueva Gales del Sur | 4  |
| 4 | Agua suministrada y recibida por el cultivo en los diferentes manejos en $m^3 ha^{-1}$     | 17 |
| 5 | Montos de agua recibidos en los dos manejos del riego en los dos años del estudio          | 19 |
| 6 | Análisis de suelos   | 24 |
| 7 | Componentes del Balance Hídrico  | 42 |
| 8 | Rendimiento de grano, índice de cosecha y los componentes del rendimiento del cultivo      | 44 |
| 9 | Eficiencia del uso del agua por el cultivo   | 45 |

|           |   |   |
|-----------|---|---|
| FIGURA N° | Pagina  |   |
| 1         | Componentes del balance agua-suelo y capas consideradas en el modelo SAWAH                              | 5 |
| 2         | Evapotranspiración y evaporación bajo el sistema Pin-Point y Baño-Inundación durante las zafras 1994-95 | 7 |
| 3         | Evapotranspiración en campos de arroz sujeto a diferentes tratamientos                                  | 8 |
| 4         | Observación diaria de evapotranspiración, evaporación y transpiración                                   | 9 |

|  |    |
|--|----|
| 5 Evolución de la evapotranspiración en relación a la evaporación del Tanque "A"                                       | 10 |
| 6 Relación entre evapotranspiración medido en lisímetros en cultivos de arroz sobre evaporación de Tanque "A"          | 12 |
| 7 Transpiración bajo el sistema Pin-Point y Baño-Inundación durante la zafra 1994-95                                   | 14 |
| 8 Se mide la variación en la medición de la ET real del cultivo que se puede observar cuando existen estas diferencias | 22 |
| 9 Ubicación de la chacra   | 23 |
| 10 Mapa de suelo   | 24 |
| 11 Gráfica área volumen  | 25 |
| 12 Temperaturas media, máxima y mínima expresado como desvío del promedio  | 26 |
| 13 Precipitaciones decádicas   | 27 |
| 14 Horas de sol  | 27 |
| 15 Evaporación del tanque "A" (Promedio decádico)  | 28 |
| 16 Lisímetro utilizado para medición de Transpiración  | 30 |
| 17 Lisímetro utilizado para medición de Infiltración   | 31 |
| 18 Lisímetro utilizado para medición de Evapotraspiración  | 31 |
| 19 Ubicación de los lisímetros en la chacra  | 31 |
| 20 Aforador volumétrico de hélice  | 32 |
| 21 Ubicación en la chacra de los aforadores garganta cortada   | 32 |
| 22 Croquis de la chacra  | 33 |
| 23 Volumen diario bombeado por etapa   | 35 |
| 24a Evapotranspiración diaria desde el establecimiento de la inundación hasta fin de riego                             | 36 |
| 24b Transpiración acumulada  | 36 |
| 25a Transpiración diaria desde el establecimiento de la inundación hasta fin de riego                                  | 37 |

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 25b | Transpiración acumulada   | 38 |
| 26a | Evaporación diaria desde el establecimiento de la inundación hasta fin de riego | 39 |
| 26b | Evaporación acumulada   | 39 |
| 27  | Valores diarios de ET, T y E ajustados a una línea de tendencia                 | 40 |
| 28  | ET, T y E acumulados  | 40 |
| 29  | Proporción de cada componente del gasto   | 41 |
| 30  | Evolución de la evapotranspiración en relación a la evaporación del Tanque "A"  | 43 |
| 31  | Evolución de la materia seca y altura   | 44 |

## TABLA DE CONTENIDOS

|   | Página |
|---|--------|
| PAGINA DE APROBACION.....   | II     |
| AGRADECIMIENTOS.....  | III    |
| LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....   | IV     |
| <br>  |        |
| 1 <u>INTRODUCCION</u> .....   | 1      |
| 2 <u>REVISION BIBLIOGRAFICA</u> .....   | 2      |
| 2.1 CONSUMOS TOTALES.....   | 2      |
| 2.2 BALANCE HIDRICO.....  | 5      |
| 2.3 EVAPOTRANSPIRACION.....   | 6      |
| 2.3.1 <u>Relación entre evapotranspiración del cultivo</u><br><u>y evaporación del Tanque "A"</u> ..... | 10     |
| 2.4 TRANSPIRACION.....  | 14     |
| 2.5 PERCOLACION.....  | 14     |
| 2.6 PERDIDAS LATERALES.....   | 16     |
| 2.7 INCIDENCIA DEL METODO DE RIEGO SOBRE EL GASTO.....  | 17     |
| 2.8 LISIMETROS .....  | 20     |
| <br>  |        |
| 3 <u>MATERIALES Y METODOS</u> .....   | 23     |
| 3.1 UBICACIÓN.....  | 23     |
| 3.2 CARACTERIZACION DE LOS RECURSOS NATURALES.....  | 23     |
| 3.2.1 <u>Recursos Edáficos</u> .....  | 23     |
| 3.2.2 <u>Recursos Hídricos</u> .....  | 25     |
| 3.2.3 <u>Recursos Climáticos</u> .....  | 25     |
| 3.2.3.1 Temperatura.....  | 25     |
| 3.2.3.2 Precipitaciones.....  | 26     |
| 3.2.3.3 Horas de Sol.....   | 27     |
| 3.2.3.4 Evaporación del Tanque "A".....   | 27     |
| 3.3 CARACTERISTICAS AGRONOMICAS<br>Y MANEJO DEL CULTIVO.....  | 29     |
| 3.4 DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO.....   | 29     |
| <br>  |        |
| 4. <u>RESULTADOS Y DISCUSION</u> .....  | 34     |
| 4.1 GASTOS TOTALES. ....  | 34     |
| 4.1.1 <u>Gasto medido en el aforador</u> .....  | 34     |
| 4.1.2 <u>Gasto medido en fuente de agua</u> .....   | 35     |
| 4.2 COMPONENTE DEL GASTO.....   | 35     |
| 4.2.1 <u>Evapotranspiración</u> .....   | 35     |
| 4.2.1.1 Transpiración.....  | 37     |
| 4.2.1.2 Evaporación.....  | 38     |
| 4.2.1.3 Comportamiento de la ET.....  | 39     |
| 4.2.2 <u>Percolación</u> .....  | 40     |
| 4.2.3 <u>Pérdidas laterales</u> .....   | 41     |

|  |    |
|--|----|
| 4.3 BALANCE HIDRICO.....               | 41 |
| 4.4. RELACION $ET_c/ETA$ .....         | 42 |
| 4.5 RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES..... | 43 |
| 5 <u>CONCLUSIONES</u> .....            | 45 |
| 6 <u>RESUMEN</u> .....                 | 46 |
| 7 <u>SUMMARY</u> .....                 | 47 |
| 8 <u>BIBLIOGRAFIA</u> .....            | 48 |
| 9 <u>ANEXOS</u> .....                  | 49 |

## 1 INTRODUCCION

Una creciente atención se ha puesto últimamente en el manejo de aguas de riego en arroz, en parte debido a su gran importancia en lo referente a la producción de alimento y en parte por el gran volumen de agua que se utiliza para estos fines. Una utilización eficiente del recurso hídrico, implica la utilización completa de las precipitaciones y la eliminación de toda percolación innecesaria.

Particularmente en el Uruguay la producción arrocerera tiene en el riego uno de sus principales costos siendo estos de aproximadamente el 20 % de sus costos totales. Hoy en día el recurso agua es una de las limitantes para la expansión del sector. El uso eficiente de dicho recurso permitiría la disminución significativa de un costo de producción y a su vez la posibilidad de regar un área mayor

La expansión del cultivo hacia nuevas regiones (zona centro-norte y norte) del país, determina la necesidad de conocer los volúmenes de agua gastados en estos nuevos ambientes, donde las condiciones edáficas, topográficas y climáticas pueden ser muy diferentes a las encontradas en la zona este.

Sobre la base de éste requerimiento creciente de generar información en dicha zona es que se planteó la realización del presente trabajo. En este se considera esencial alcanzar un entendimiento cuantitativo de la dinámica del agua en el sistema del cultivo y en particular de los procesos de evaporación y transpiración los cuáles usualmente constituyen los principales componentes del balance hídrico en el campo.

La primera parte de éste trabajo consiste en una revisión de antecedentes enfocados principalmente sobre los consumos totales de agua, así como también de cada uno de los componentes que generen dicho gasto.

La segunda parte abarca el ensayo en si donde se analiza el comportamiento de la evapotranspiración, infiltración, pérdidas laterales y el volumen gastado durante el período de baños e inundación. También incluye la medición del volumen total ingresado a la chacra, las precipitaciones y la variación al nivel de fuente de agua.

## 2 REVISION BIBLIOGRAFICA

### 2.1 CONSUMOS TOTALES

El consumo promedio durante el riego del cultivo de arroz puede estimarse en 15000 m<sup>3</sup>/ha. Esta cifra puede variar mucho según las condiciones climáticas y la cantidad de lluvia caída en el periodo, del tipo de suelo, pero fundamentalmente del manejo del agua que realice el productor. Si bien cada caso debe ser estudiado en forma particular, no hay duda de que en general se utiliza bastante más agua de la necesaria y se podría llevar el consumo a valores cercanos a 10000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> en la mayoría de los casos (Gamarra, 1996)

En el ámbito nacional, I.N.I.A. en la Estación Experimental del Este (E.E.E.), departamento de Treinta y Tres, planteó un proyecto tendiente a realizar mediciones de consumo de agua en chacras de productores sin intervenir en el manejo del riego que realiza cada productor, en las Zonas Centro-Norte y Norte del país. En una chacra ubicada en el Departamento de Artigas se suministraron 11487 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de agua de riego, más 749 mm de lluvia para el periodo noviembre 1996 a febrero 1997, recibiendo así 18977 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de agua. Para otra chacra ubicada en el Departamento de Tacuarembó se contabilizaron 8561 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de riego, sumándole las precipitaciones (593 mm) el volumen recibido por hectárea fue de 14491 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. (Roel y Blanco, 1997)

En estudios realizados durante 1983-84, Blanco (1988) citado por Gamarra (1996) en la E.E.E. obtuvo los siguientes resultados en 100 días de riego del cultivo. Cuadro 1.

CUADRO 1: Necesidades de agua del cultivo en la zafra 1983-84. (Blanco, 1988, citado por Gamarra, 1996)

| CONCEPTO           | GASTO EN mm |
|--------------------|-------------|
| Evapotranspiración | 600         |
| Percolación        | 100         |
| Pérdidas laterales | 460         |
| Manejo del agua    | 170         |
| <b>Total</b>       | <b>1330</b> |

Este resultado implica 13300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. La zafra 1983-84 fue muy lluviosa y las pérdidas laterales fueron muy importantes debido a este exceso de lluvia. Si no hubiera ocurrido esto y no se contabilizaron los 460 mm de dicho concepto el gasto total hubiera sido 8700 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. En mediciones realizadas por el mismo autor en chacras comerciales durante las zafras 1983-84 y 1984-85, dejando que cada

productor realizara su propio manejo del agua y utilizando un testigo con un manejo más ajustado a las necesidades del cultivo obtuvo los resultados que se detallan en el cuadro 2.

**CUADRO 2:** Consumo de agua en chacras comerciales (Blanco, 1984 citado por Gamarra, 1996)

| Consumos 1983-84                              | I       | II      | III      | IV      | Testigo  |
|---|---------|---------|----------|---------|----------|
| Baños (m <sup>3</sup> /ha)                    | 179     | 1261    | 2342     | 1108    | 1980     |
| Inundación a floración (m <sup>3</sup> /ha)   | 2850    | 3527    | 3910     | 5089    | 1900     |
| Floración a fin de riego (m <sup>3</sup> /ha) | 7646    | 7515    | 9959     | 14417   | 1990     |
| Total de riego (m <sup>3</sup> /ha)           | 10675   | 12303   | 16211    | 20614   | 5870     |
| Lluvia (m <sup>3</sup> /ha)                   | 4364    | 6220    | 5336     | 6140    | 7430     |
| Consumo total (m <sup>3</sup> /ha)            | 15039   | 18523   | 21547    | 26754   | 13300    |
| Siembra (fecha promedio)                      | 1/12/83 | 5/12/83 | 25/11/83 | 5/12/83 | 30/11/83 |
| Días de riego                                 | 103     | 119     | 121      | 117     | 102      |
| Rendimiento (bolsas/ha)                       | 79      | 50      | 71       | 76      | 87       |

| Consumos 1984-85                              | A       | B        | C        | D        | E        | Testigo  |
|---|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Baños (m <sup>3</sup> /ha)                    | 1106    | 1200     | 2694     | 2750     | 2936     | 1221     |
| Inundación a floración (m <sup>3</sup> /ha)   | 5300    | 7113     | 7508     | 7612     | 10490    | 4961     |
| Floración a fin de riego (m <sup>3</sup> /ha) | 1861    | 3197     | 2519     | 4981     | 5700     | 1908     |
| Total de riego (m <sup>3</sup> /ha)           | 8267    | 11510    | 12721    | 15343    | 19126    | 8090     |
| Lluvia (m <sup>3</sup> /ha)                   | 2327    | 2327     | 1605     | 2327     | 2327     | 1743     |
| Consumo total (m <sup>3</sup> /ha)            | 10594   | 13837    | 14326    | 17670    | 21423    | 9833     |
| Siembra (fecha promedio)                      | 9/11/84 | 15/11/84 | 22/10/84 | 26/10/84 | 10/11/84 | 19/10/84 |
| Días de riego                                 | 120     | 108      | 103      | 120      | 120      | 93       |
| Rendimiento (bolsas/ha)                       | 119     | 102      | 140      | 74       | 122      | 140      |

Se observó una variación muy grande entre los productores. Los valores van desde 10000 hasta 26000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ha en todo el ciclo. Se encontró que:

- los productores eficientes fueron bastante similares al testigo
- los ineficientes gastaron el doble
- no existió relación entre consumo y rendimiento
- en el año con más lluvias paradójicamente se gastó más agua.

Basándose en esta información Gamarra (1996) concluye que:

- Se debe trabajar mucho para disminuir el gasto de agua
- A mayor consumo mayor costo.
- Al consumir más se está desperdiciando un recurso importante y se imposibilita que puedan entrar más áreas al cultivo donde el recurso es escaso.
- Con más agua hay más lavado de nutrientes del suelo.
- Se saturan drenajes e inundan caminos y campos no sembrados.

En un trabajo realizado por Humphreys et al (1994) en Nueva Gales del Sur (Australia), tomando mediciones en varios distritos, hallaron que en las últimas cuatro temporadas el uso de agua por distrito para el cultivo de arroz ha variado de 9000 a 15400 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, dependiendo de la localización y las condiciones climáticas durante la temporada de cultivo. Cuadro 3. El promedio del uso del agua para el

riego del arroz en cada una de estas estaciones de cultivo en los últimos años ha variado hasta tanto como  $3100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  entre diferentes distritos.

**CUADRO 3:** Consumo de agua en cultivos de arroz (ML/ha) en las Areas Irrigadas y los Distritos del Sur de Nueva Gales del Sur, Australia.

|  | 1989-90 | 1990-91 | 1991-92 | 1992-93 |
|--|---------|---------|---------|---------|
| <i>Murray Region rice water use</i>  |         |         |         |         |
| Dembosa  | 13.7    | 14.6    | 14.7    | 10.5    |
| Denimein   | 14.3    | 13.9    | 14.4    | 9.9     |
| Wakool-Tullakool   | 14.7    | 14.5    | 13.9    | 9.5     |
| E. Berriquin   | —       | 13.3    | 11.7    | 9.0     |
| W. Berriquin   | —       | 13.5    | 13.4    | 9.1     |
| <i>Murrumbidgee Region rice water use</i>  |         |         |         |         |
| Coleambally  | 14.5    | 15.1    | 14.8    | n.a.    |
| Berrembsah   | n.a.    | 15.1    | n.a.    | n.a.    |
| <i>Evaporation and rainfall at Griffith</i>  |         |         |         |         |
| ET <sub>0</sub>  | 12.6    | 14.1    | 12.7    | 10.1    |
| Rainfall   | 1.0     | 0.6     | 1.1     | 3.2     |
| ET <sub>0</sub> minus rainfall <sup>A</sup>  | 11.6    | 13.5    | 11.6    | 6.9     |
| <sup>A</sup> Predicted irrigation requirement to replace net loss to the atmosphere from rice. n.a., not available (no records). |         |         |         |         |

La variación estacional entre distritos es normalmente contemplada dentro de este rango ( $3100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), excepto para los extremos como se dieron en 1990-1991 que fue mucho más seco que el promedio mientras que 1992-1993, una temporada de cultivo con un clima excepcionalmente fresco, nublado y lluvioso.

En el mismo trabajo se plantea un criterio interesante para establecer los límites entre lo que es un consumo total razonable o no. En él se menciona que el uso de agua no debe exceder los  $16000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Las bases para haber marcado este objetivo provienen de la consideración de que hasta  $12000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  son evapotranspirados desde los campos de arroz durante la estación de cultivo, y a partir del principio de que ni el escurrimiento superficial ni la percolación profunda deberían exceder los  $4000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Como la mayor parte del agua aplicada al arroz es utilizada para satisfacer la demanda por ET, los datos del cuadro 3 sugieren que hasta  $3000$  a  $4000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  no son contabilizados por ET. Esta agua termina en el subsuelo o escurriendo a través de los sistemas superficiales de drenaje.

En los años de inusualmente altas o bajas demandas por evapotranspiración estas bases se ajustarían con coherencia aumentando o disminuyendo teniendo en cuenta la variación entre años. (Humphreys et al 1994).

Buenos registros de periodos largos son esenciales para estimar un promedio de evapotranspiración para el arroz, debiendo también realizar los ajustes de la variación entre años (Fleming 1964; Linacre 1967; Meyer 1988 citado por Humphreys et al. 1994).

## 2.2 BALANCE HIDRICO

El seguimiento del balance hídrico de los campos irrigados de arroz es un factor esencial del diseño y operación de los sistemas de riego (Bouman et al., 1994). Este mismo autor señala que frecuentemente se utilizan con este propósito, simples libros de registros, donde se detallan ganancias y pérdidas de agua en relación con una determinada profundidad que puede llegar por ejemplo hasta la zona de exploración radicular más profunda. Según Wopereis et. al. (1994) el balance hídrico de un campo de arroz exhibe los siguientes componentes: agua de riego, precipitaciones, evaporación, transpiración y filtración/percolación. Figura 1.

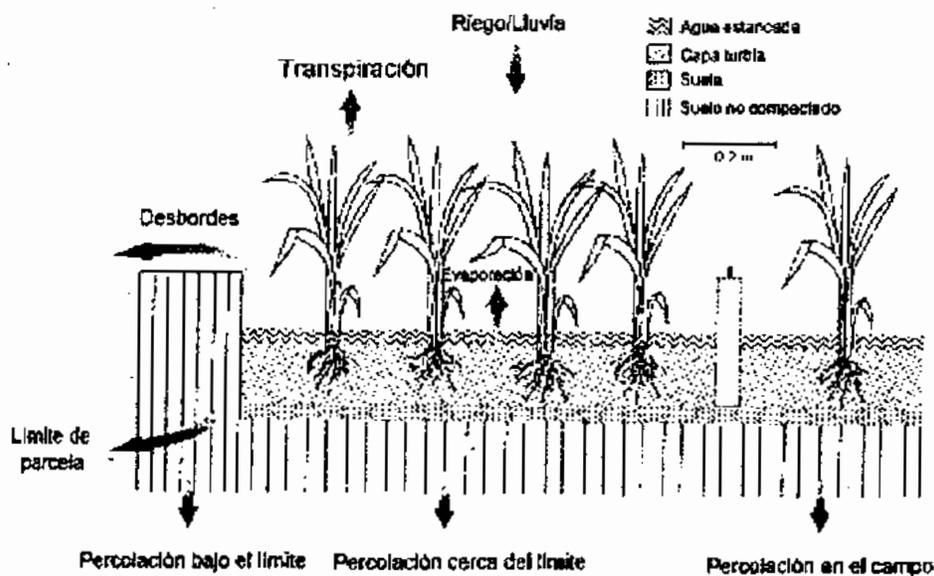


FIGURA 1: Componentes del balance agua - suelo considerados en el modelo SAWAH.

El balance hídrico en una chacra de arroz puede ser descrito por la siguiente ecuación (F.A.O. 1994):

$$dw = I + R - ETc - S - P - D.$$

Donde: dw = Variación de la humedad del suelo.

R = Precipitación en mm/día.

I = Riego en mm/día.

ETc = Evapotranspiración del cultivo en mm/día.

S = Filtración en mm/día.

P = Percolación en mm/día.

D = Flujo sobre los límites de la parcela en mm/día.

Donde la precipitación es la registrada en estación meteorológica. El riego "I" es normalmente aplicado cuando el nivel de agua alcanza un nivel crítico mínimo. La evapotranspiración puede ser calculada basándose en las guías F.A.O. 1984:

$$ET_c = ETo * Kc$$

ETo es la evapotranspiración del cultivo de referencia y Kc es un coeficiente de cultivo. ETo puede ser un valor calculado (Penman 1948, Blaney-Criddle 1950) o puede ser un valor derivado de parámetros de evaporación estándar (Tanque "A").

Según A. Roel (1996) el balance hídrico en una chacra de arroz puede ser descrito por la siguiente ecuación:

$$P + R = E + T + Es + I$$

Donde P es precipitación, R riego, E evaporación, T transpiración, Es escorrentía e I es infiltración.

### 2.3 EVAPOTRANSPIRACION

La evapotranspiración comprende lo que transpiran las plantas y lo que se evapora de la superficie del agua. Este gasto depende de los factores climáticos (temperatura, radiación, humedad y viento). La evaporación registrada en el tanque "A" es una buena estimación de lo que ocurre en la chacra (Gamarra, 1996).

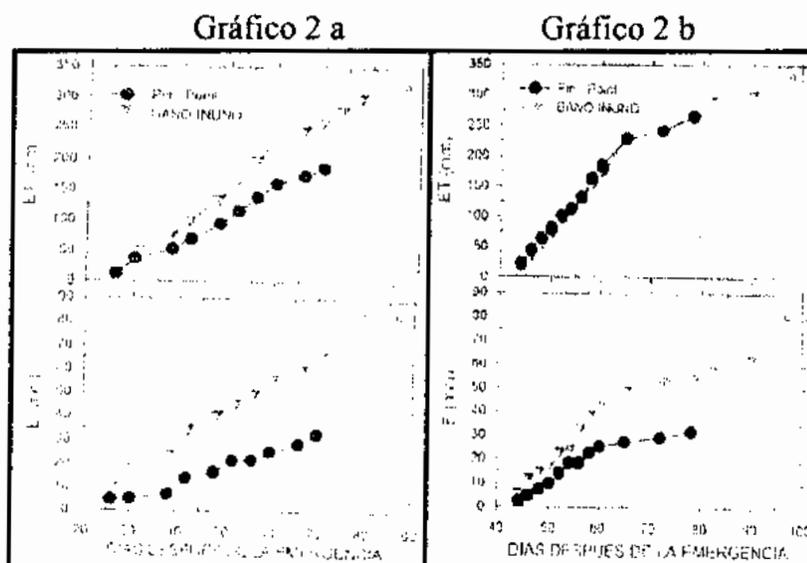
Por otro lado A. Roel (1996), menciona a la evapotranspiración como la evaporación directa de la lámina de agua más la transpiración de las plantas.

El mismo autor en un estudio realizado en Texas donde compara dos manejos diferentes del agua de riego (Baño-Inundación y Pin-Point) en las zafra 1994-95, midió la evapotranspiración en el período comprendido entre el establecimiento de la inundación y 100 % de floración. Los valores promedios diarios que obtuvo para la zafra 1994 fueron de 6.3 mm por día en el manejo de riego de baño – inundación y 5 mm por día en el manejo del riego denominado Pin – Point. Para la siguiente zafra los valores promedios reportados de ET fueron de 8.8 mm para el sistema baño – inundación y 9.0 mm bajo el sistema Pin – Point.

La ET fue superior en el manejo baño – inundación que en el manejo pin – point a pesar de haber presentado este último un mayor índice de área foliar y altura. La evaporación directa de la lamina de agua fue sustancialmente mayor durante este período en el sistema baño inundación. Estas diferencias se deben fundamentalmente a que la estructura del cultivo (canopy) fue diferente en ambos tratamientos. El cultivo bajo el sistema baño – inundación se presentó más abierto permitiendo mayor penetración de luz y por lo tanto mayor cantidad de radiación incidente sobre la lámina de agua, lo que en parte resultó en mayores valores de evaporación.

Esto demuestra claramente que para el caso del cultivo de arroz al tener la presencia de una lámina de agua no siempre un mayor desarrollo foliar deba traducirse en una mayor ET. Gráficos 2a y 2b.

**GRAFICOS 2a y 2b:**  
Evapotranspiración (ET) y evaporación (E) bajo el sistema Pin-Point y Baño-Inundación durante las zafra 1994 (Gráfico 2 a) y 1995 (Gráfico 2 b). Roel, 1996.



Shih et al, en 1982 reportó datos de un trabajo realizado en el Everglades Agricultural Area (EAA), sur de Florida (EEUU), donde se comparó los requerimientos de ET en cultivos de arroz de primavera, verano y cultivo tardío. Encontró que la evapotranspiración variaba entre 740/880, 610/840 y 400/500 mm respectivamente, con una eficiencia en el uso del agua que oscilaba entre 0.76 y 1.1 (media 0.85) Kg de grano producido por m<sup>3</sup> de agua gastado.

En un trabajo nacional realizado por Blanco (1988) citado por Gamarra (1996) en la E.E.E. halló un gasto total por concepto de evapotranspiración de 6000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> con una media diaria de 4 mm por día.

Brown et al 1978 demostraron que hasta el 48 % (570 mm) del total del agua aplicada por riego (1180 mm) fue perdida a través de la ET. Lo restante fue perdido básicamente en primera instancia por escurrimiento, algo en la capacidad de almacenamiento del suelo y el resto en la infiltración a las capas subsuperficiales del suelo.

Por otro lado Bettge y Mc. Cauley (1985) concluyeron que de los 850 mm aplicados, 63 % (530 mm) fue consumido por la ET del cultivo. El agua consumida en el campo incluyó ET, infiltración y escurrimiento superficial.

Por su parte McCauley (1985) encontró que en campos regados con agua de superficie, 820 mm (55 %) de los 1480 mm totales de irrigación fue consumido dentro del campo. Estos datos puntualizan el alto consumo de agua tanto del arroz como los excesos perdidos por escurrimiento.

Durante 1968 y 1969 se llevaron a cabo estudios en medio de un extenso campo de arroz a 40.2 kilómetros al norte de Davis, California. Los datos de ET obtenidos fueron comparados con datos recabados en un gran lisímetro situado en Davis y plantado con festuca. Se registro un gasto para el arroz de 920 mm siendo

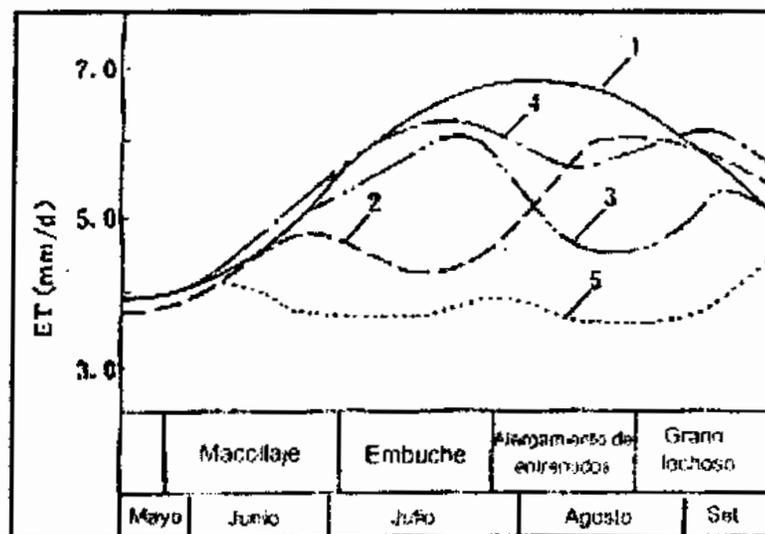
tan solo un 3.5 % superior al obtenido para Festuca en el estudio de 10 años en Davis para el mismo lapso.

Los valores de humedad, significativamente mas altos y las velocidades del viento algo menores, son los factores que en el caso del arroz contribuyeron a reducir la evapotranspiración potencial en un 20 a 25 %, en relación con los datos obtenidos en Davis. Aunque en este estudio la ET del arroz y la festuca fueron muy similares, se estima que la ET del arroz podría superar al de la pastura en un 20 a 25 %, si las parcelas de estudio hubieran tenido el mismo tamaño y hubieran sido instaladas en el mismo sitio (Lourence y Pruitt, 1970).

Li y Cui (1996), señalan que los principales factores que afectan la evapotranspiración son factores climáticos y en alguna medida, las funciones fisiológicas de las plantas de arroz en inmersión. Sin embargo, tanto la evaporación como la transpiración disminuyen drásticamente cuando la humedad del suelo es insuficiente y las raíces son incapaces de recoger cantidades apropiadas de agua. Esto sucede cuando el contenido de agua en los primeros 30 cm de suelo es menor al 80 % del contenido máximo posible con el suelo saturado en agua.

La figura 3 muestra que la ET diaria es afectada por el contenido de agua en el campo. Los déficits que experimentan las plantas se originan en los gradientes hidráulicos que se desarrollan en el sistema suelo-planta-atmosfera. Esto desencadena también una respuesta fisiológica por parte de la planta de arroz (Teare y Pet 1982, Zhang 1994, citados por Li y Cui). En los tratamientos donde se sometía a las plantas a déficits hídricos, la ET no solo era más baja durante el periodo de déficit, sino que estos valores se mantenían bajos aún después de que el suministro de agua restablecía los niveles de humedad adecuados. Esto se debe al bajo índice de área foliar de las plantas que crecen en estas condiciones y a la resistencia estomática.

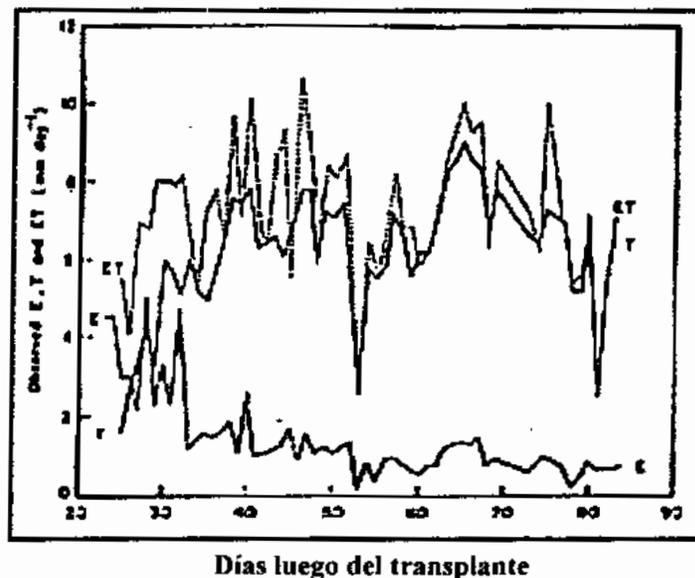
**FIGURA 3:**  
Evapotranspiración en campos de arroz sujetos a diferentes tratamientos. 1- Normal, 2- Déficit en la etapa de embuche, 3- Déficit en alargamiento de entrenudos, 5- Déficit desde macollaje hasta el final del alargamiento de entrenudos. Extraído de Li y Cui, 1996.



Posteriormente la ET del cultivo alcanza y luego sobrepasa la del cultivo en inmersión continua, esto debido a que el cultivo primariamente estresado desarrolla hojas mayores y numerosas en la parte superior. Los sistemas radiculares bien desarrollados y en abundante suministro de nutrientes producto de las condiciones de oxidación son factores que contribuyen a este sobrecrecimiento. No obstante lo anterior, períodos largos de estrés hídrico producen daño estomático y limitan el IAF.

Jensen y Rahman, (1987) encontraron que inicialmente la evaporación, con valores de 4 -5 mm diarios, predominaba sobre la transpiración. Sin embargo, hacia el día 35 luego del transplante, cuando el cultivo ya se encontraba recuperado del trauma que esa operación conlleva, el índice de área foliar era de aproximadamente 1.5 y la transpiración se convertía en el proceso dominante, promediando los 6.6 mm/día. A partir de allí la transpiración registraba un pico de 9 mm/día durante la floración (65 días post transplante). En este momento el cultivo conforma una superficie de máxima aspereza debido a la emergencia de las panojas, que coincide con una alta demanda evaporativa. Es posible que las panojas por si mismas contribuyan significativamente al aumento de la transpiración total, pero esta contribución solamente abarcaría unos pocos días. Figura 4

**FIGURA 4:** Observación diaria de evapotranspiración (ET), evaporación (E) y (T) transpiración. Extraído de Jensen y Rahman, 1987.



En el cultivo de arroz siempre se observan gráficas bimodales en los patrones de T y ET, con picos marcados durante la floración y el macollaje (Tomar y O Toole 1980, citado por Jensen y Rahman, 1987). En toda la estación de crecimiento se estima que la evaporación contribuye un 33 % a la evapotranspiración total, esta constatación concuerda estrechamente con los valores proporcionados por el Instituto Internacional del Arroz (1971) y con los informes como los de Barchelor y Roberts (1983).

Shih et al 1982 reportaron que los valores promedio de ET diaria para cada semana en el cultivo de arroz se incrementan constantemente hasta más allá de las 10 semanas luego de la inundación, posteriormente se nivelaban por dos o tres semanas.

En adelante se registra una declinación de la ET en las dos semanas anteriores a la cosecha.

Estos datos sugieren que la ET se mantiene baja durante el período vegetativo, para luego ir aumentando a medida que se aproxima la fase reproductiva. La ET permanece alta durante los estados de floración y fructificación. Resulta claro de esta forma que es en estas etapas cuando se requiere mayor cantidad de agua, hecho que ha sido reportado por Yoshida y Matsushma. Estos investigadores observaron que el cultivo de arroz es más sensible al estrés hídrico durante los 10 días anteriores y los 20 posteriores a la aparición de panojas.

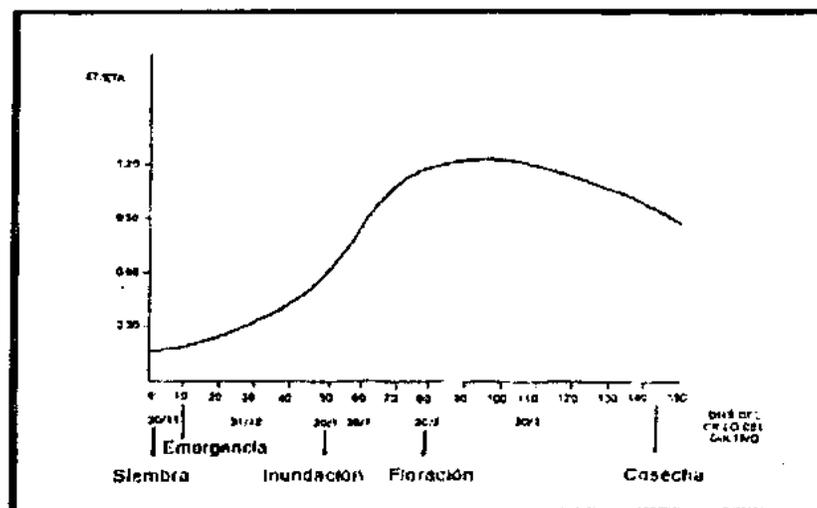
Hiler (1970) por su parte informa que la susceptibilidad del arroz a la escasez de agua en la fase de reproducción y maduración es de aproximadamente el doble de la registrada en la fase vegetativa. Los resultados de este estudio también muestra que los valores de ET en estas etapas críticas son relativamente mayores a los de la etapa vegetativa

### 2.3.1 Relación entre la evapotranspiración del cultivo y evaporación del Tanque "A".

Esta relación indica la importancia relativa de la transpiración del cultivo con respecto a la evaporación en los diferentes momentos del ciclo. (Gamarra, 1996)

Blanco (1988) citado por Gamarra (1996) reportó que la relación ET/ETA fue variable con la época del ciclo caracterizándose una curva que se visualiza en la figura 5.

**FIGURA 5:** Evolución de la evapotranspiración en relación a la evaporación del tanque "A". Blanco, 1988 citado por Gamarra, 1996.



En el caso del arroz se presenta el hecho de que los requerimientos de agua son muy altos debido a que este cultivo es invariablemente cultivado en condiciones de inundación. Tomar y O'Toole (1979) realizaron observaciones en las que se comprueban que en general la ET de los cultivos de arroz es igual o mayor a la prevista para un parámetro de evaporación de Tanque "A". Estos autores encontraron que la evapotranspiración en los campos de arroz supera la evaporación del tanque "A" en un 10 a un 20 %.

Evans (1971) citado por Humpheryes et al. (1994) midió la ET en un lisímetro en el centro de un potrero de arroz cercano a Griffith (Nueva Gales del Sur, Australia) por aproximadamente 5 semanas, hacia finales de enero y febrero de 1969. La ET diaria varió desde 1.8 mm (en un día con el cielo cubierto) hasta 14 mm (en un día con cielo despejado y vientos moderados). La ET diaria (ET arroz) estuvo altamente correlacionada con la medición obtenida en el tanque clase "A" (E tanque):

$$ET \text{ arroz} = 0.98 * E \text{ tanque} \quad (r^2 = 0.83, P < 0.001, n = 32)$$

El coeficiente ET arroz / E tanque varió desde 0.77 a 1.47 y variaba considerablemente de un día a otro. El coeficiente en si tendió ha ser mas alto durante finales del mes de febrero. Mucha de la variación en el coeficiente ET arroz / E tanque fue debido a la diferencia entre superficies de posición como es el caso del cultivo que es mucho más áspero, comparada con la geometría estable y más lisa de un tanque de evaporación (ambos sumamente dependientes de las condiciones imperantes del viento).

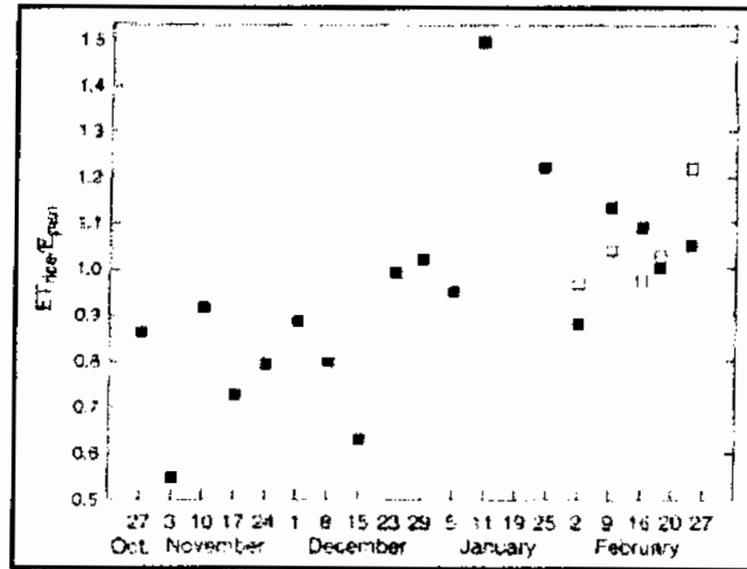
En otro trabajo Simpson et al (1992) citado por Humpheryes et al. (1994) midió la ET en lisímetros a intervalos de 2 a 4 días por un periodo de 4 meses en un campo de arroz inundado cercano a Griffith. La ET semanal estuvo altamente correlacionada con la E tanque obtenida semanalmente (Meyer et al 1994):

$$ET \text{ arroz} = 0.91 * E \text{ tanque} \quad (r^2 = 0.43, P < 0.001, n = 19)$$

La relación ET arroz / E tanque igual a 0.91 es mas bajo que aquel obtenido por Evans en 1971, de todas maneras los datos obtenidos por este fueron logrados por un periodo mas corto de tiempo para un cultivo que ya había logrado su máximo desarrollo vegetativo y estaba progresando hacia su floración.

Los datos de Meyer et al (1994) fueron tomados durante la mayor parte del periodo de cultivo en condiciones de inundación, comenzando poco tiempo después de la siembra. El coeficiente ET arroz / E tanque obtenido semanalmente fluctuó entre 0.55 y 0.92 enseguida después de la siembra y se aproximó a 1 a fines de diciembre. El coeficiente fluctuó alrededor de 1 en enero y febrero, y fue bastante consistente con los promedios semanales obtenidos por Evans 1971. Figura 6.

**FIGURA 6:** Relación entre evapotranspiración medido en lisímetros en cultivos de arroz cercano a Griffith ( $ET_{rice}$ ) sobre evaporación de tanque "A" ( $E_{pan}$ ). Datos de Meyer et al. (1994) (■) y Evans (1971) (□).



Meyer et al. (1994) señala que la ET semanal estuvo altamente correlacionada con la referencia semanal de Eto logrados a partir de la calibración local de la formula de Penman sobre los cuatro meses de mediciones realizadas en el período de cultivo.

Simpson et al (1992) citado por Humpheryes et al. (1994) determinaron las cantidades de agua perdidas hacia la atmósfera por evaporación y transpiración del cultivo usando isótopos de deuterio y oxígeno-18 aplicados en el agua de riego. Aproximadamente un 40 % del total de perdidas hacia la atmósfera fue por evaporación desde la superficie del agua. Alrededor de mediados de noviembre, un mes después de la siembra, toda la perdida fue a partir de la evaporación de la superficie del agua. Para mediados de diciembre el 66 % de la pérdida fue por transpiración del cultivo incrementándose esta al 90 % del total de la pérdida para mediados de enero.

Talsma y Van der Lelij (1976) citado por Humpheryes et al. (1994) usaron un balance de agua para estimar la ET de dos campos de arroz cercanos a Griffith y uno en el área de Coleambally Irrigation Area, CIA (Nueva Gales del Sur, Australia). Se midió ingreso de agua a la chacra y el escurrimiento desde esta, la infiltración fue medida en anillos. La ET semanal fue comparada con le evaporación del tanque "A". En la chacra cercana a Griffith el coeficiente  $ET_{arroz} / E_{tanque}$  tendió a ser menor a 1 en noviembre y diciembre de 1969 y fluctuó alrededor de 1 en enero y febrero. En la siguiente estación de cultivo este coeficiente fue mayor fluctuando entre 1.1 en diciembre de 1970 y 1.25 en enero. Para este mismo año el coeficiente  $ET_{arroz} / E_{tanque}$  para la chacra ubicada en la zona de la CIA fluctuó alrededor de 1 desde mediados de diciembre hasta final de febrero.

Estos datos indicaron nuevamente una tendencia estacional en este coeficiente con valores más altos alrededor de enero y febrero. Los promedios para estas chacras fueron de 0.91 desde principios de noviembre hasta principios de marzo, 1.11 desde fines de noviembre hasta mediados de marzo y 1.03 desde mediados de diciembre a principios de marzo.

Humphreys et al (1994) concluyen que a partir de estas mediciones directas e indirectas, el total de la ET durante la estación del cultivo en estas zonas pueden ser estimados a partir de los datos de evaporación de tanque "A".

Tomar and O'Toole (1979) citado por Humphreys et al. (1994) concluyen que la ET varía con el estado de desarrollo del cultivo, con coeficientes de ET rice / E pan en Asia de 1 en el transplante, 1.1 en el macollaje, y 1.2 o más alto en la floración. Estos autores sugirieron un coeficiente de 1.15 a 1.2 para estimar la ET a partir del tanque "A" para el total de la estación del sur y sudeste de Asia.

La razón para valores mayores es Asia esta dada por el comportamiento de este tipo de tanques en los trópicos en donde normalmente evapora menos que la ET obtenida a través de la formula de Penman (Eto) (Keig et al. 1979 citado por Humphreys et al. 1994).

P.M. Flemming (com. pers; citado por Humphreys et al. 1994) sugiere que en los trópicos una superficie libre de agua esta usualmente a una temperatura más alta que la temperatura del aire debido a que tanto la irradiación solar como la presión de vapor son altas. Por lo tanto un tanque "A" puede perder calor por su sensibilidad a la transferencia de calor por los costados, entonces la energía para la evaporación es bastante menor de lo esperado.

En Griffith la temperatura del agua es menor que la del aire en verano por lo que el proceso es al revés y el tanque recibe energía por los costados incrementando la energía para la evaporación.

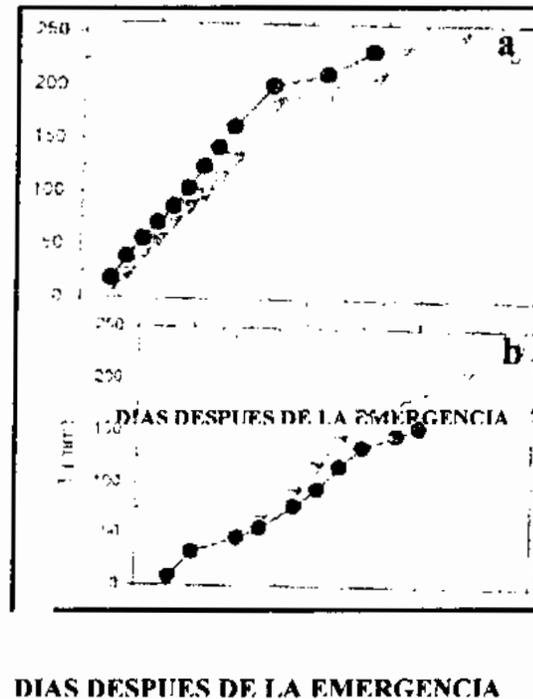
Una medición muy ajustada de la radiación solar y la temperatura es importante para lograr estimaciones confiables acerca de la Eto. Esta fuerte dependencia de la energía de radiación implica que regiones con parámetros similares de radiación solar es muy probable que tenga condiciones similares para la evaporación. Esto es especialmente así, si las regiones en cuestión tienen aproximadamente los mismos patrones de tiempo y de velocidad del viento y no estan diferenciados por cambios importantes en su altitud (Humphreys et al. 1994).

## 2.4 TRANSPIRACION

En un estudio de diseño y calibración de microlisímetros de campo Tomar y O'Toole (1980) encontraron transpiraciones diarias promedio para cuatro variedades de arroz de 7.65 y 8.55 mm para los días 11 y 12 de abril respectivamente en la zona de Manila (Filipinas).

A.Roel (1996) comparó la transpiración de las plantas del cultivo de arroz en dos sistemas de riego (Baño – Inundación y Siembra en agua). Los resultados reportados en las distintas etapas del cultivo se detallan en la figura 7.

**FIGURA 7:** Transpiración (T) bajo el sistema Pin – Point y Baño – Inundación durante la zafra 1994 (b) y 1995 (a). Extraído de Roel, 1996.



Para la zafra 1994 las plantas bajo el sistema de siembra en agua presentaron un mayor índice de área foliar y una mayor altura que las del sistema baño inundación, sin embargo, en los gráficos se visualiza que las segundas tuvieron una mayor tasa de transpiración. El autor señala que estos resultados sugieren que el mayor desarrollo de las plantas en el sistema de Pin – Point incrementó el sombreado de las hojas inferiores reduciendo así la transpiración total del cultivo

## 2.5 PERCOLACION

La percolación es lo que se pierde por gravedad a las capas más profundas del suelo. Depende de las características del suelo, horizonte Bt, contenido de arcilla, etc (Gamarra, 1996).

Otros autores definen a la percolación como el movimiento del agua mas allá del nivel de máxima profundidad de raíces, hacia las napas del subsuelo. Este es un movimiento eminente en el plano vertical (IRRI 1965 citado por Wopereis, 1994).

Bajo condiciones de inmersión la percolación se constituye en un componente muy importante del balance hídrico. Esta percolación es a su vez influenciada por factores de suelo, textura, permeabilidad y condiciones hidrológicas, etc. Tanto los resultados obtenidos mediante la aplicación de los distintos modelos como los datos experimentales señalan claramente que existe un movimiento significativo de agua, justo después de que ésta ha desaparecido de la superficie. El drenaje de aguas de exceso de la demanda de la evapotranspiración, se traslada hacia abajo, hacia la "base" de la zona de máximo desarrollo de las raíces (Li y Parkes 1993).

Wopereis et al. (1994) en un trabajo realizado en Filipinas, señala que la percolación en un suelo bien afirmado y sin filtraciones sería de unos 4 mm/día. En el caso de un suelo bien afirmado las pérdidas por percolación y filtración pueden ser de 900 mm por todo el ciclo del cultivo.

Estos mismos autores destacan que existen factores considerados como favorables en cuanto a la mejora de las características de cimentación y a una menor percolación neta, como por ejemplo las texturas pesadas con alto contenido de montmorillonita en la fracción arcilla.

Bouman et al., (1994) señala que si se trata de un subsuelo poco permeable la baja permeabilidad de dicho subsuelo restringirá significativamente la percolación y filtración por debajo de los límites de la parcela limitando las pérdidas por este concepto a las pérdidas que se pueden producir a través de los límites en sí mismo lo que constituye un flujo netamente horizontal por encima del nivel del suelo

Existe también una influencia ejercida por el régimen hídrico en los alrededores. Mayores profundidades de agua en el campo darán lugar a mayores tasas de percolación debido al incremento de la presión hidráulica. (Wopereis et al. 1994)

Bouman et al., (1994) en ensayos realizados con modelos de simulación, señalan que en suelos con suelas de arada de alta resistencia hidráulica, el contenido de agua en el subsuelo no afecta la tasa de percolación alcanzándose un estado de estabilidad en dicha tasa al primer día del ensayo. Cuando la conductividad hidráulica de la suela de arada es elevada la conductividad del subsuelo es la que determina la tasa de percolación. Una napa elevada cercana a la suela de arada reduce la proporción de subsuelo disponible para ser ocupada por el agua, de esa forma el agua percolante llena rápidamente el subsuelo y se genera una presión hidráulica que frena la percolación inicialmente alta alcanzándose con prontitud un estado de estabilidad.

La tasa de percolación sobre un subsuelo de baja permeabilidad (arcilloso) queda determinada principalmente por la tensión de agua en el subsuelo. Si este se

encuentra inicialmente seco su baja tensión de agua da como resultado una rápida absorción del agua percolante. Sin embargo, con el creciente contenido de agua en el subsuelo la tensión creciente reduce el flujo vertical limitando la tasa de percolación. (Bouman et al., 1994).

En un trabajo realizado por A. Roel (1996) en la Estación Experimental de Beaumont, Texas, donde se comparó el consumo de agua en dos manejos de riego (Pin-Point y Baño-Inundación), no se encontraron diferencias en el gasto por infiltración para ambos tratamientos, promediando 1 mm por día.

## 2.6 PERDIDAS LATERALES

Las pérdidas laterales son producidas por filtraciones, desbordes y roturas de rondas y taipas. Depende de la topografía, localización y construcción de taipas y rondas, etc (Gammarra, 1996).

La filtración es un fenómeno que se desarrolla en el plano horizontal, hacia los lados, pero siempre subsuperficialmente (IRRI 1965 citado por Wopereis, 1994). Los desbordes son producidos cuando la altura de la lámina de agua supera la altura de las taipas, produciéndose una pérdida hacia fuera de los límites de la chacra.

Wopereis et al. (1994) en un trabajo realizado en Filipinas, señala que la filtración a las capas subyacentes puede ser un factor importante en las pérdidas observadas. En suelos donde existan pérdidas por filtraciones y percolación se pueden dar valores de 36 mm por día.

Blanco, (1984) citado por Gammarra, (1996) en estudios realizados en la Estación Experimental del Este durante la zafra 1983-84 encontró que de los 1330 mm gastados por el cultivo, 460 mm ocurrieron por conceptos de pérdidas laterales.

La filtración y la percolación son dos elementos claves en cuando a la eficiencia al uso del agua, y la constancia de las tasas de ambas determinan la exactitud y el éxito de los procedimientos basados en las planillas de balance y registro. Las tasas de filtración / percolación son afectadas por una variedad de factores como por ejemplo las propiedades físicas e hidráulicas del suelo como estructura, textura y conductividad hidráulica. Además, por otras condicionantes asociadas al ambiente hidrológico como por ejemplo la profundidad de las napas, contenido de humedad del subsuelo, nivel de agua y estado de conservación de los límites entre parcela (Whickman y Singh 1978; Angus y Zandstra 1980 citados por Boumann et al 1994).

## 2.7 INCIDENCIA DEL METODO DE RIEGO SOBRE EL GASTO

En el ámbito nacional el Proyecto Riego del Programa Arroz llevado a cabo por el I.N.I.A. Treinta y Tres, se obtuvieron resultados promisorios en las diferentes variedades evaluadas en cuanto al adelanto del momento de inundación con respecto al momento tradicional de establecer la misma, quedando así planteada la interrogante de que podía suceder con el “gasto” de agua en la medida que se adelantara la inundación. De esta manera, se planteó un estudio que fue realizado durante tres zafra sucesivas, 96/97, 97/98 y 98/99 en la Unidad Experimental Paso de la Laguna – INIA Treinta y Tres evaluándose dos manejos contrastantes de la inundación: una inundación temprana, 15 días después de la emergencia y una inundación tradicional, 45 días después de la emergencia. Cuadro 4

**CUADRO 4:** Agua suministrada y recibida por el cultivo en los dos diferentes manejos en  $m^3 ha^{-1}$ , para las diferentes zafra.

|                               | ZAFRA COMPONENTES             | 96/97 | 97/98 | 98/99 |
|-------------------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|
| <b>INUNDACION TEMPRANA</b>    | BAÑOS                         |       |       |       |
|                               | INUNDACIÓN <sup>1</sup>       | 1088  | 755   | 590   |
|                               | MANT. INUNDACION <sup>2</sup> | 5132  | 2628  | 3880  |
|                               | TOT. SUMINISTRADA             | 6220  | 3383  | 4470  |
|                               | PRECIPITACIONES <sup>3</sup>  | 2838  | 9230  | 3929  |
|                               | TOTAL RECIBIDO                | 9058  | 12313 | 8399  |
|                               | EFICIENCIA ( $Kg m^{-3}$ )    | 0.81  | 0.51  | 0.92  |
| <b>INUNDACION TRADICIONAL</b> | BAÑOS                         | 2548  | 935   | 1777  |
|                               | INUNDACIÓN <sup>1</sup>       | 744   | 910   | 1220  |
|                               | MANT. INUNDACION <sup>2</sup> | 4770  | 2686  | 3069  |
|                               | TOT. SUMINISTRADA             | 8062  | 4531  | 6066  |
|                               | PRECIPITACIONES <sup>3</sup>  | 2838  | 9232  | 3929  |
|                               | TOTAL RECIBIDO                | 10900 | 13761 | 9995  |
|                               | EFICIENCIA ( $Kg m^{-3}$ )    | 0.65  | 0.47  | 0.86  |

<sup>1</sup> Agua suministrada para establecer la primera inundación “calzado”.

<sup>2</sup> Agua suministrada para el mantenimiento de la inundación.

<sup>3</sup> Precipitaciones registradas desde el momento de la siembra al momento del retiro del agua.

Algo importante a resaltar es que en dos de los tres años (96/87 y 98/99) estudiados si bien el total de agua para **mantener la inundación** fue superior en el manejo de la inundación temprana, por estar inundado por un período de tiempo mayor, el total de **agua suministrada** fue menor. En la zafra 1997/98 el gasto de agua por concepto de mantenimiento de la inundación fue prácticamente similar en los dos manejos del riego. Esto está fundamentalmente explicado por el hecho de que dado el alto aporte de las precipitaciones en esa zafra (923 mm), fue casi nulo el consumo extra por mantener durante un mayor tiempo el tratamiento de inundación temprana.

Sin embargo, la diferencia entre este componente del gasto entre los dos manejos de la inundación (temprana y tradicional), es menor que el agua que fue necesaria para suministrar por el concepto de baños en caso del manejo de la inundación tradicional.

Esto determina que el agua utilizada por el concepto de baños en el caso del manejo de la inundación tradicional es el principal determinante de las diferencias en los totales de agua suministradas.

En promedio para los tres años de estudio, el gasto extra de agua por mantener durante un período mayor inundado la chacra fue de  $372 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , lo cual es significativamente inferior al gasto promedio por concepto de baños realizado en el manejo de la inundación tradicional que fue de  $1753 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ .

La eficiencia del uso del agua puede ser definida de varias maneras según A. Roel (1996). Desde el punto de vista del riego la eficiencia puede ser definida como la relación entre el total de agua utilizada en la parcela en los procesos de evapotranspiración e infiltración y el agua recibida por la parcela, ya sea en forma de riego o lluvia (Oad et al 1993 citado por Roel 1996). Desde el punto de vista fisiológico la eficiencia del uso del agua puede ser representada por la relación entre los kg de grano producidos y los milímetros de agua evapotranspirada.

Esto es sumamente importante de determinar ya que una estrategia de riego puede consumir una mayor cantidad de agua, pero a su vez puede lograr mayores rendimientos.

Como puede apreciarse en el cuadro 4, la eficiencia del uso del agua fue siempre superior en el caso del manejo de la inundación temprana, fundamentalmente debido a los menores consumos de agua registrados con este manejo ya que no hubo diferencias claras en los rendimientos finales en ambos tratamientos.

En el promedio de las tres zafras estudiadas el manejo de la inundación temprana permitió la obtención de un 13 % más de arroz por metro cúbico de agua suministrada que el manejo de la inundación tradicional. (A. Roel 1999)

Roel (1996) en las Zafras 1994-95 realizó un trabajo en la Estación Experimental de Baumont, Texas en el cuál compara mediante un balance hídrico el consumo de los distintos componentes que hacen al gasto global. Estos sistemas son riego tradicional (Baño – Inundación) y Pin – Point (Siembra en agua).

Reportó que el total de agua aplicado a las parcelas bajo el manejo de riego Pin – Point fue menor que las que estaban bajo el sistema tradicional en los dos años de estudio, a pesar de estar las primeras inundadas durante un período mayor. El promedio total de agua aplicado excluyendo las lluvias para los dos años fue de 628 mm en el sistema Pin – Point y 741 mm en el sistema Baño Inundación.

El sistema Pin - Point requirió mayor cantidad de agua durante el período inundación que el sistema convencional en los dos años de estudio debido a que el cultivo está inundado por más tiempo.

Lo resaltante es que la diferencia en el total de agua necesaria para mantener la inundación entre los dos manejos de riego (279 - 222, en 1994 y 526 - 260, en 1995) fue inferior a la cantidad de agua necesaria para bañar las parcelas bajo el sistema Baño Inundación (170 en 1994 y 307 en 1995), Cuadro 5.

**CUADRO 5:** Montos de agua recibidos en los dos manejos del riego en los dos años del estudio.

| AÑO                   | Componentes      | Pin - Point (mm) | Baño - Inundación (mm) |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------------|
| 1994                  | Lluvia           | 333              | 333                    |
|                       | Baño             |                  | 170                    |
|                       | Inundación       | 277              | 289                    |
|                       | Mant. Inundación | 229              | 222                    |
|                       | <b>TOTAL</b>     | <b>889</b>       | <b>1014</b>            |
| 1995                  | Lluvia           | 585              | 585                    |
|                       | Inundación       | 175              | 307                    |
|                       | Baño             |                  | 234                    |
|                       | Mant. Inundación | 526              | 260                    |
|                       | <b>TOTAL</b>     | <b>1286</b>      | <b>1386</b>            |
| <b>Total Promedio</b> |                  | <b>1087</b>      | <b>1200</b>            |

Mc Cauley (1985) citado por Dabney y Hoff (1989) realizó una experiencia en la cual se evaluaron 12 cultivares comerciales de arroz en condiciones de riego por aspersión y bajo condiciones normales de cultivo por inundación. De la comparación de los resultados surge que para los tres años de duración del experimento, el rendimiento de los cultivares regados por aspersión variaba entre un 56 y un 102 % del rendimiento del mismo cultivar regado por inundación. Estas variaciones se registraban cuando la cantidad de agua suministrada por aspersión sumada al agua de las precipitaciones, igualaba la evaporación del tanque "A".

Entre los años 1982 y 1986 en el estado de Louisiana (Estados Unidos), Dabney y Hoff (1989) llevaron a cabo una serie de trabajos tendientes a evaluar el comportamiento de cultivares comerciales en situaciones de riego por inundación y riego por aspersión. Este último consistía en regar cuando el potencial de matriz del suelo descendía por debajo de los -20 KPa o -50 Kpa.

Entre los dos niveles de irrigación por aspersión, solo se registraron diferencias en la producción de biomasa cuando la precipitación y el riego eran menores que la evapotranspiración potencial. Finalmente estos autores concluyen que ningún nivel de irrigación por aspersión es capaz de eliminar completamente el estrés hídrico del arroz cuando se cultiva bajo aspersión y la evapotranspiración

potencial es elevada. Señalan también que el arroz generalmente rinde mas cuando es cultivado bajo condiciones de inundación que cuando es regado mediante aspersión.

Algunas de las explicaciones reportadas son la eliminación del estrés hídrico, la mayor disponibilidad de algunos elementos minerales y nutritivos, así como la menor incidencia de malezas o la menor predisposición a determinadas enfermedades del cultivo bajo esas condiciones. (Yoshida 1975, Sanches 1976, p445-447, de Data 1981, Westcott y Vines 1986, Kim et al 1986 citados por Dabney y Hoff 1989)

Si bien Dabney y Hoff (1989) son consistentes en señalar que los rendimientos en los tratamientos de riego intermitente por aspersión son significativamente menores que los regados por inundación, cabe señalar que los gastos totales encontrados por estos fueron bastante más bajos en el primer caso que en el segundo. Los consumos totales reportados para los riegos intermitentes fueron de  $4700 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  para el tratamiento a  $-20 \text{ Kpa}$  y de  $3500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  a  $-50 \text{ Kpa}$ , mientras que de acuerdo con los medidores instalados en las parcelas regadas por inundación se determinó que en forma adicional al agua de las precipitaciones se necesito un aporte de  $15000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , para poder mantener una profundidad de lamina de 5 a 10 cm.

O'Toole y Baldía (1984) citado por Dabney y Hoff (1989) reportaron que los rendimientos correspondientes a los cultivos por inundación resultaron similares a los regados intermitentemente cuando la evapotranspiración potencial era baja. Estos resultados son concordantes con los obtenidos por Yoshida (1975) los cuales demuestran que la máxima aproximación entre los rendimientos de los dos tipos de cultivos (aspersión vs. inundación) se verificaba cuando la demanda evaporativa se reducía en un 20 a un 30 %. De esto se desprende que el método de cultivo con riego por aspersión podrían resultar adecuados para las áreas que presenten una demanda evaporativa moderada como en el caso particular de la zona sur de Louisiana donde es frecuente la presencia de coberturas nubosas y humedad alta en el aire.

Extrapolando estos resultados a zonas de alta demanda evaporativa como puede ser la zona norte del Uruguay nos permite concluir que los riegos intermitentes independientemente de que sean estos por aspersión o inundación frecuentemente provocarían estrés hídrico en detrimento del rendimiento puesto que difícilmente los riegos intermitentes cubran completamente la demanda de evapotranspiración del cultivo.

## 2.8 LISIMETROS

Muchos son los métodos que se han desarrollados para estimar la ET, algunos de ellos aplican los principios de balance hídrico, otros aplican relaciones de carácter empírico o representan enfoques micrometeorológicos. Todos estos métodos difieren

entre sí en cuanto a exactitud en el corto o largo plazo y en cuanto a los costos (Tanner 1967, citado por Tomar y O'Toole 1980).

Los grandes lisímetros de pesaje y los métodos micrometeorológicos son exactos pero costosos. Por otra parte los métodos empíricos son una buena aproximación pero solo en cuanto a las pérdidas de ET a largo plazo, además necesitan de exactas mediciones para alcanzar una buena calibración. Resumiendo, no existen aparatos simples y exactos para medir la ET diaria, mas aún en los estudios de las relaciones suelo – agua – planta. Se ha puesto de relieve la necesidad de disponer de mediciones exactas de ET y T en intervalos cortos en condiciones de campo (Tomar y O'Toole 1980).

El método más ajustado para medir la evapotranspiración desde el cultivo inundado de arroz es mediante lo que llaman lisimetría de tanque cerrado, utilizando tanques enterrados en el suelo, plantados con arroz. Para utilizar este método correctamente el cultivo dentro del tanque y el entorno del mismo deben ser representativo del cultivo en general y este debe estar lo suficientemente alejado de los bordes del campo para evitar efectos de borde debidos a advección. . (Humphreys et al 1994)

Con el objetivo de desarrollar un método sensible, exacto, barato y practico para medir T y ET en condiciones de campo es que Tomar y O'Toole 1980 presentan el diseño, la calibración y el ensayo de campo de un microlisímetro que puede ser incluso fabricado localmente.

Dichos autores han diseñado un lisímetro de PVC para medir transpiración y evapotranspiración en campos de arroz inundados. Las perdidas totales de agua a partir de la superficie libre de agua dentro del cilindro y la evaporación del tapiz, se registran como evaporación y evapotranspiración respectivamente. A efectos de medir la transpiración del cultivo, este es cubierto de manera que la única salida de agua hacia la atmósfera sea la transpiración de las plantas.

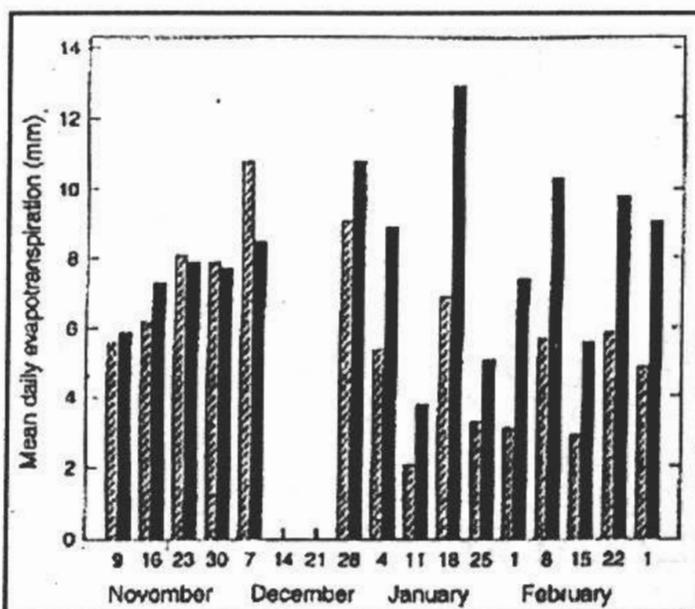
Luego con el objetivo de ensayar la exactitud de dichos lisímetros estos autores relacionaron la medida de estos con la de lisímetros mayores y complejos, encontrando en esta comparación una relación de 1:1 entre ambas medidas. Los resultados obtenidos permiten afirmar que estos microlisímetros de PVC se tratan de unidades que ofrecen un importante grado de exactitud con una excelente confiabilidad y sensibilidad en cuanto a la medición de ET y T bajo condiciones de campo. La utilidad de estos artefactos se ve incrementada si consideramos que a través de ellos se pueden obtener datos de ET en intervalos tan cortos como un día o más cortos aún, monitoreando de esa forma las variaciones diarias que se presentan en los cultivos. (Tomar y O'Toole 1980)

Lang et al. (1974) mostraron que la evapotranspiración sobre los bordes de los potreros de los campos de arroz ubicados hacia puntos cardinales donde provienen los vientos principales eran hasta un 30% más altos que los obtenidos más hacia el centro del cultivo, cuando había una franja sin cultivo de hasta 2400 m antes

del cultivo. Este efecto de advección fue aparente para franjas de por lo menos 85 m entre el borde del cultivo de arroz y los lisímetros. De todas maneras la ET medida en el centro del potrero fue una buena aproximación a la media del potrero en su conjunto sin aplicar una corrección por advección. La corrección por advección hubiese sido un multiplicador menor a 1.04 para un potrero de 30 ha en una localidad donde se cultivaba solamente un 10% del área con arroz. En muchas áreas la intensidad en el uso del suelo en cultivos de arroz oscila entre el 20 a 30 %, disminuyendo, por tanto, la necesidad de una corrección por advección.

Lang et al (1974) citado por Humphreys et al. (1994), notaron grandes variaciones entre lisímetros con un coeficiente de variación de entre 2 y 18 %, presumieron que la variación reflejaba diferencias en el cultivo. El efecto de un canopy más bajo en el lisímetro comparado con el desarrollo del cultivo alrededor del mismo es claramente demostrado mediante los datos de evapotranspiración observados en la figura 8.

**FIGURA 8:** Medición de la evapotranspiración real del cultivo. Barras en negro: Cultivo dentro del tanque con la misma cobertura vegetal y desarrollo que el cultivo circundante. Barras en gris: Cultivo dentro del tanque con menor desarrollo (20 cm más bajo) que el cultivo circundante. Extraído de Humphreys et al. (1994).



Roel (1996) en un trabajo realizado en Texas, utilizó lisímetros para medir la evaporación, transpiración e infiltración en un campo de arroz. Estos lisímetros consistían en tubos de PVC de 0.25 m de diámetro y 0.5 m de longitud, los cuales eran abiertos en ambos extremos. En dichos lisímetros se medía la altura de agua a intervalos de dos días. Los lisímetros eran instalados previo a la siembra de las parcelas para permitir el crecimiento de las plantas dentro de ellos. En el caso de los lisímetros utilizados para la medición de transpiración se le incorporaron pequeñas pelotas de plástico que flotaban en el agua y suprimían así la evaporación directa del agua en un 85 %. En el caso de los lisímetros de infiltración, las plantas eran removidas y la superficie tapada para evitar la entrada de agua de lluvia y la evaporación de la lámina de agua.

### 3 MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 UBICACION

El ensayo se llevo a cabo en un establecimiento comercial ubicado sobre la ruta 30 a la altura del kilometro 38 en el departamento de Artigas R.O.U., distanciado aproximadamente 10 km del pueblo Tomás Gomensoro, (Figura 9). El predio abarca los padrones 459 y 410 de la 9ª Sección Judicial del departamento de Artigas. Se encuentra delimitado al norte por la ruta 30, al este por el Arroyo Yucutujá, al sur por el predio propiedad de Yaqueline Paulo y al oeste por camino vecinal.

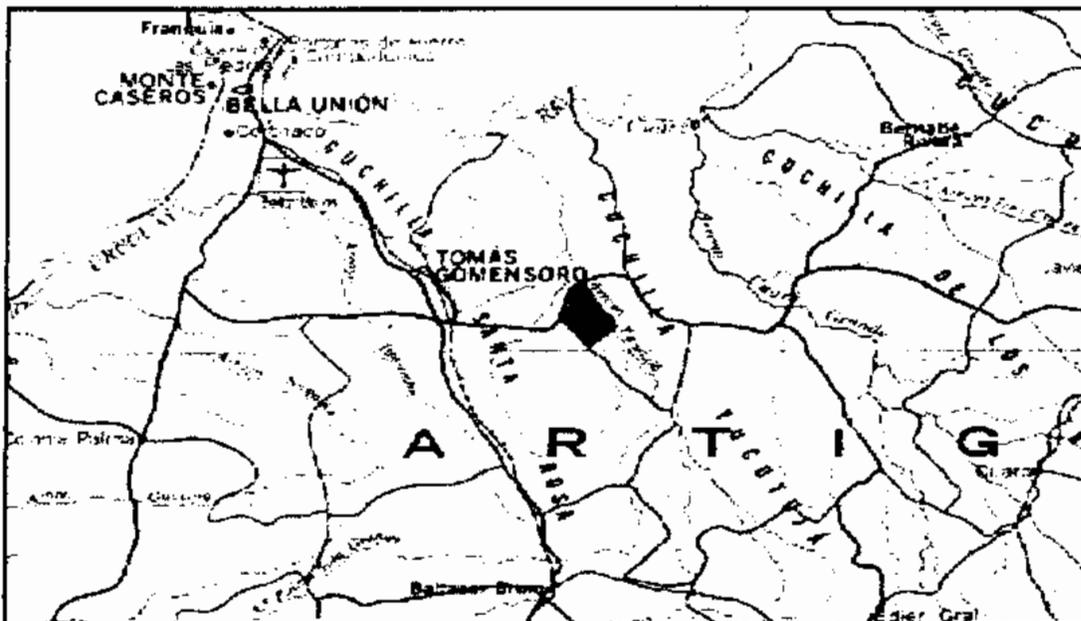


FIGURA 9: Ubicación de la chacra

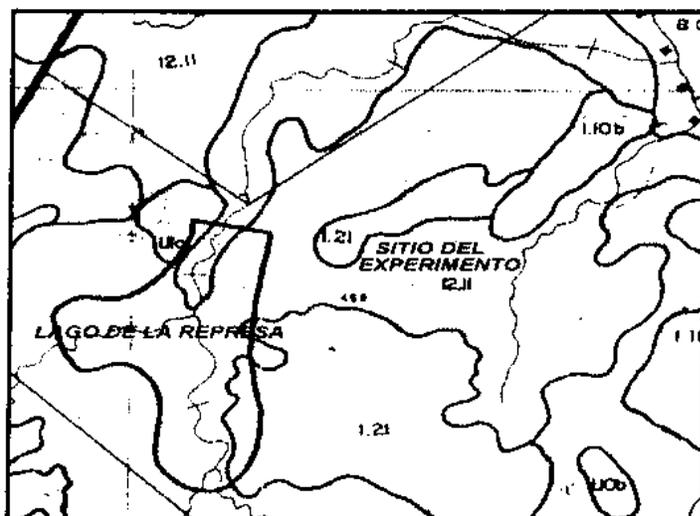
La tenencia de la tierra es de tipo arrendatario, siendo LA PAMPA Sociedad Agropecuaria la empresa que lleva a cabo la explotación del cultivo.

#### 3.2 CARACTERIZACION DE LOS RECURSOS NATURALES

##### 3.2.1 Recursos edáficos.

El área de suelo cultivado fue de 180 has, en estas se encuentran suelos del grupo CONEAT 12.11 predominantemente y en menor proporción suelos del grupo 1.21 y 1.10b. Figura 10.

**FIGURA 10:** Mapa de suelo



El grupo 12.11 donde se encuentra el experimento, se ubica en la zona 12 que comprende suelos desarrollados a partir de sedimentos limo arcillosos apoyados sobre la formación Arapey. Este grupo presenta un relieve de lomadas suaves (1 a 3% de pendiente) con valles cóncavos asociados. Los suelos dominantes son Vertisoles Háplicos y Brunosoles Eutrícos Típicos. Estos suelos corresponden a la unidad Itapebí – Tres Arboles de la carta a escala 1:1.000.000 de la Dirección de Suelos y Fertilizantes.

El grupo 1.21 se encuentra en suelos con relieves de lomadas fuertes (pendientes de 3 a 6 %) incluyendo también pequeños interfluvios y valles, con una pedregosidad que oscila entre el 2 a 6 %. Los suelos dominantes son Litosoles Eutrícos Melánicos y Brunosoles Eutrícos Típicos. El grupo 1.10b incluye pequeños valles con pendientes fuertes y una importante rocosidad. Los suelos dominantes son Litosoles Subéutrícos Melánicos.

La mayoría de los suelos de esta chacra (Padrón Nº 459) como así también los suelos donde se llevó a cabo el experimento corresponden a los Suelos Clase A según la clasificación por Capacidad de uso del Suelo (Ley 15239).

El análisis de fertilidad del suelo se detalla en el cuadro 6:

**CUADRO 6:** Análisis de suelo

|                      |      |
|----------------------|------|
| Materia orgánica (%) | 6.7  |
| pH en agua           | 5.9  |
| Fósforo (Bray 1) ppm | 5    |
| Potasio *            | 0.62 |
| Calcio *             | 19.0 |
| Magnesio *           | 9.8  |
| Sodio *              | 0.4  |

\* Cationes en meq/100 gramos de suelo

Fuente: Laboratorio de análisis de suelo de CALAGUA

### 3.2.2 Recursos hídricos

Para la irrigación del cultivo se dispuso como fuente de agua de un embalse de tierra que almacena el agua de escurrimiento superficial. Esta obra se emplaza sobre una cañada sin nombre, afluente del Arroyo Yucutujá, en la Cuenca del Río Cuareim.

El volumen de agua embalsado es de 2000000 m<sup>3</sup> generando un espejo del lago de 95.8 has a una cota 5.59 metros (anexo 1). El área de la cuenca natural es de 990 has. El espejo y el volumen de agua en función de la cota puede apreciarse en la figura 11.

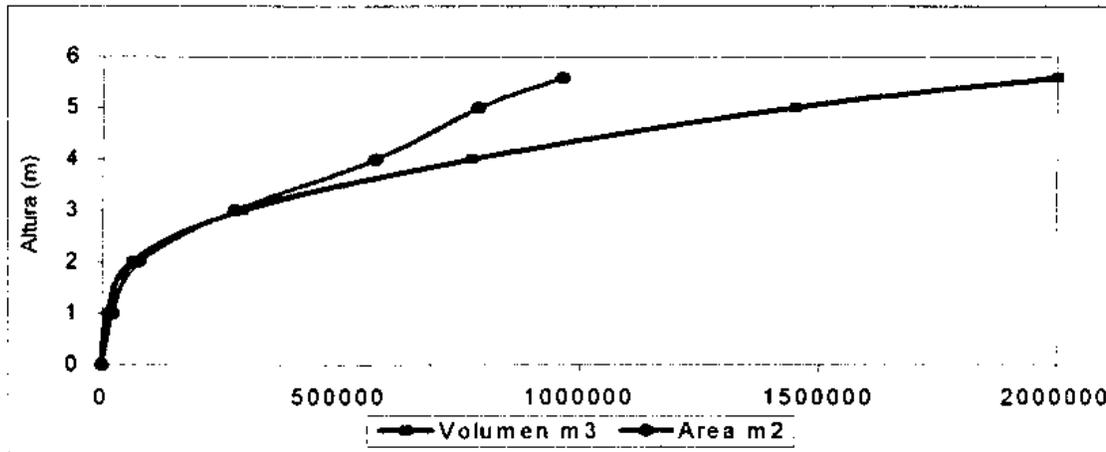


FIGURA 11: Gráfico Área Volumen

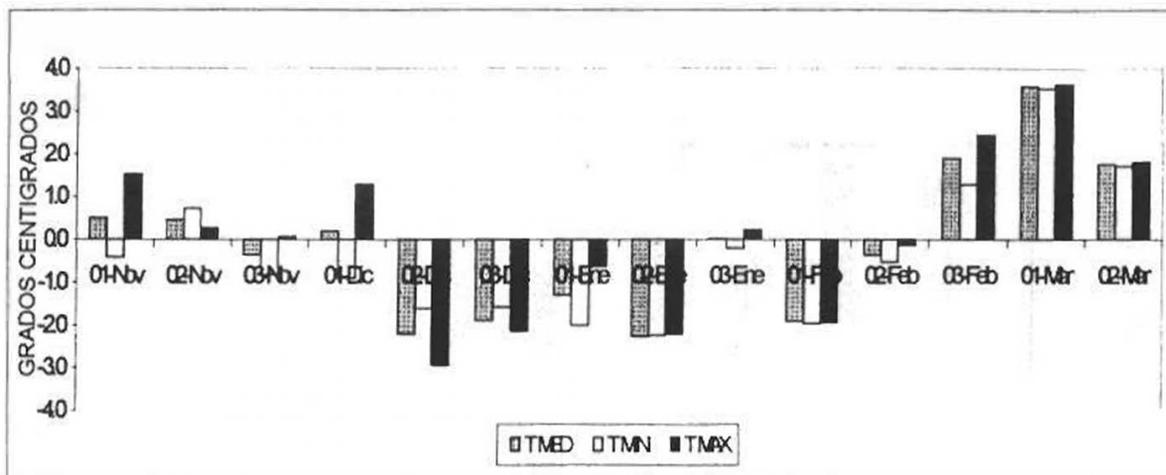
Cabe mencionar que se contó también con un monto total de 355 mm de precipitaciones durante el período del ensayo (noviembre a febrero).

### 3.2.3 Recursos climáticos

La información de temperaturas medias, máximas y mínimas, evaporación del tanque "A", horas de sol así como también las series históricas desde 1966 hasta la fecha fueron recabados de las Estación Meteorológica de CALNU. La serie histórica de las precipitaciones también se obtuvieron de la mencionada estación, pero la lluvia caída durante el período del ensayo fue registrada mediante un pluviómetro instalado en el sitio experimental.

#### 3.2.3.1 Temperatura

En la figura 12 se presenta la evolución de la temperatura media, máxima y mínima promedio de cada 10 días durante los meses de noviembre a marzo para el año 1998-99 y su comparación con los datos promedio histórico (S.H. 1966-98). (anexo 2)



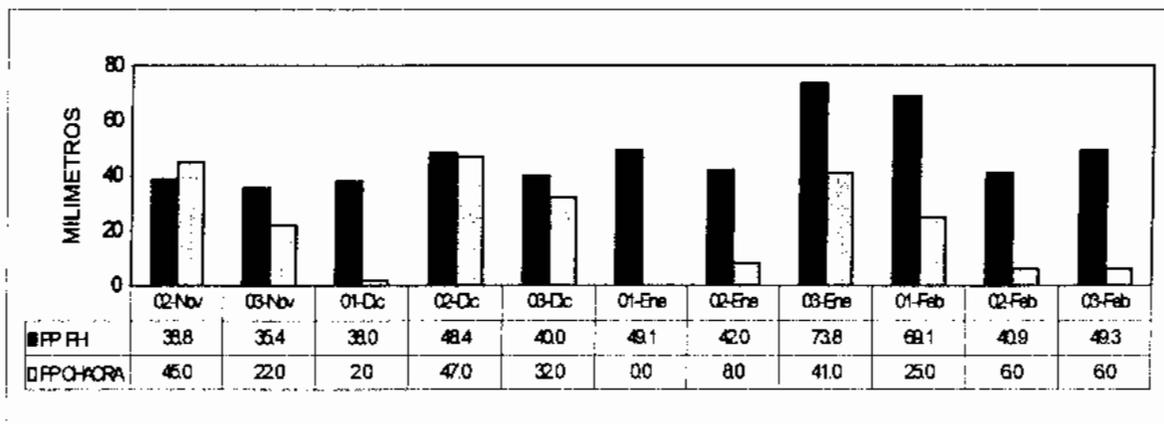
**FIGURA 12:** Temperaturas media, máxima y mínima expresado como desvío del promedio

En general se pudo observar que hasta comienzos de diciembre se registraron valores similares al promedio histórico. Esto determinó que en las primeras etapas de cultivo (emergencia y macollaje) este se desarrollara en condiciones normales desde el punto de vista térmico. A partir de la segunda década de diciembre los valores fueron siempre inferiores al promedio histórico, y se mantienen así hasta la primer década de febrero. Esto es sumamente importante ya que en esta época del año el cultivo se encontraba en la etapa de primordio, a partir de esta etapa fisiológica el cultivo es altamente sensible a las bajas temperatura. Posteriormente desde el 50 % de floración, (estado fenológico que coincide con la primer decena de febrero), hasta el retiro del agua (tercer decena de marzo) las temperaturas fueron similares o superiores al promedio histórico.

### 3.2.3.2 Precipitaciones

En la figura 13 se pueden observar los valores decadicos de precipitación en los meses que van de noviembre a febrero. Como puede observarse los datos registrados en la chacra han estado muy por debajo de los valores de la serie histórica, a excepción de las dos últimas decenas de diciembre donde lo registrado en la chacra se aproximó al promedio histórico, y la segunda decena de noviembre donde lo registrado en la chacra superó en 6.2 mm al registro histórico (1966-98).

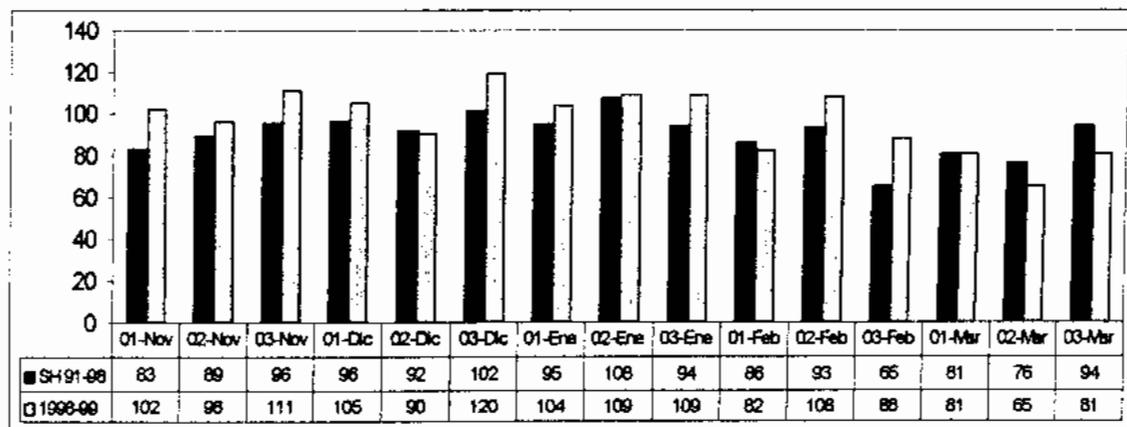
**FIGURA 13: Precipitaciones decádicas.**



### 3.2.3.3 Horas de sol.

En la figura 14 se presenta la evolución de las Horas de Sol totales cada 10 días durante los meses de noviembre a marzo de este año (Zafra 1998/99) y su comparación con los datos de la Serie Histórica (S.H. 1991-98) que refleja los valores promedio para esta región.

**FIGURA 14: Horas de sol.**



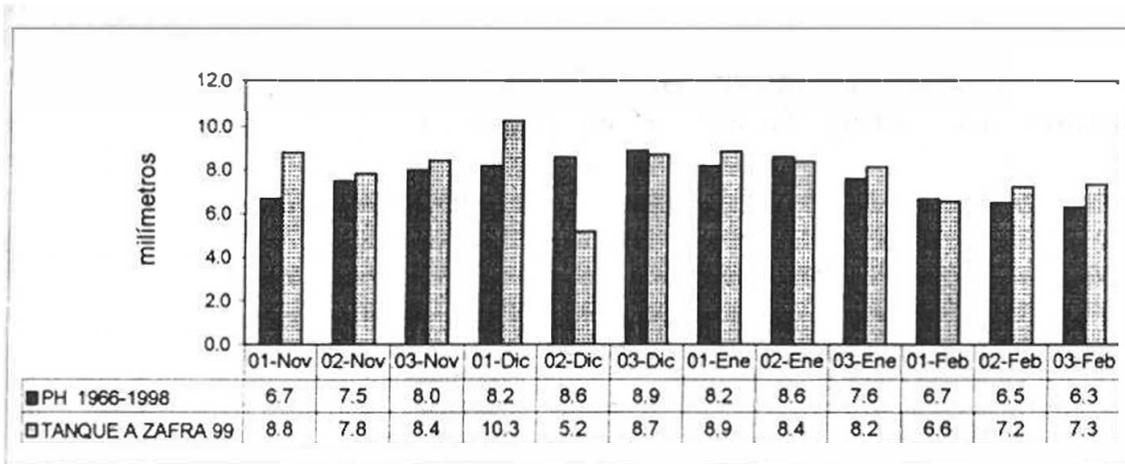
El comportamiento de este factor, como puede apreciarse en la figura ha sido en general similar o superior a los valores promedio históricos, lo cual es un reflejo de los bajos niveles de precipitación registrados en estos meses.

### 3.2.3.4 Evaporación del Tanque “A”

La evaporación del tanque “A” es un buen estimador de la acción de los restantes parámetros que actúan en forma conjunta sobre el cultivo.

Este parámetro permite estimar la demanda atmosférica a la que está afectado un determinado cultivo y por lo tanto el uso consuntivo del mismo. A su vez es de vital importancia en el manejo de represas ya que nos determina las pérdidas por evaporación directa del espejo de agua.

**FIGURA 15:** Evaporación del tanque “A”. (Promedio decádico)



En la figura 15 se puede apreciar que en general la tendencia que siguió durante el periodo del ensayo fue similar a la del promedio histórico, exceptuando la primera década de noviembre y la primera década de diciembre donde la evaporación estuvo en ambos casos dos milímetros diarios por encima del promedio histórico. Y la segunda década de diciembre, donde la evaporación registrada fue de 3.4 milímetros diarios por debajo del promedio histórico.

### 3.3 CARACTERÍSTICAS AGRONOMICAS Y MANEJO DEL CULTIVO

Se sembró entre el 1 y el 8 de noviembre y se registro la emergencia del cultivo entre el 15 y 20 de noviembre. La variedad sembrada fue El Paso 144, a una densidad de 170 a 210 Kg ha<sup>-1</sup>.

En el momento de la siembra se fertilizo con 80 Kg ha<sup>-1</sup> de 10-50-00. No fue necesario el control de malezas en ningún momento. Se realizaron dos coberturas con urea, la primera el 20 de diciembre con 15 UN ha<sup>-1</sup> en el macollaje y la segunda el 16 de enero con 20 UN ha<sup>-1</sup> en primordio. El 11 de enero se hizo una aplicación de fungicida con 0.5 l de tebuconazol, 0.5 l de carbendazin y 1 l de aceite mineral. La cosecha estuvo comprendida entre el 1 y el 20 de abril.

El manejo del agua en la chacra consistió en un sistema de baño – inundación tradicional, con la aplicación de dos baños previos a la inundación. Durante el período de inundación por lo general se regó con láminas de profundidad variable e inclusive en varios momentos se llegó a transformar en un riego intermitente.

### 3.4 DESCRIPCION DEL ENSAYO

El experimento consistió en la medición del gasto de agua en una chacra de arroz, así como también los componentes del mismo. También se registro la evolución del cultivo mediante el muestreo de materia seca, número de plantas y altura. Por otro lado se hizo el seguimiento del volumen de agua a nivel de represa.

Para saber el agua aplicada al cultivo por concepto de baños se realizaron mediciones del tenor hídrico del suelo mediante el método gravimétrico. Para tomar estos datos la metodología a seguir consistió primeramente en muestrear el suelo y colocar estas muestras en cápsulas de aluminio selladas herméticamente y previamente pesadas. Estas cápsulas se secaron a 105 °C durante 48 horas. Para ello se utilizó el horno y la balanza de precisión del laboratorio de CALAGUA. Las muestras fueron tomadas antes y después del baño.

Estas se pesaban antes y después del secado y se le restaba el peso de la cápsula vacía, estos nos da el peso seco y peso fresco de la muestra (anexo 3). La humedad gravimétrica como porcentaje en peso se calculaba mediante la fórmula:

$$\%P = \frac{\text{Peso Fresco} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Seco}} * 100$$

Para expresar este dato como porcentaje en volumen (mm cada 10 cm) se lo multiplicaba por la densidad aparente.

La densidad aparente se calculo con un método de campo sencillo, que consistió en la extracción de una muestra de suelo, la que se seco a 105 °C durante 48 horas y luego se pesó. Para saber el volumen de la muestra se cubrió el espacio que ocupaba esta en el suelo con nylon y se midió el volumen de agua necesario para llenar ese espacio (anexo 4).

El calculo es el siguiente:

$$Dap = \frac{\text{Peso seco de la muestra}}{\text{Volumen que ocupaba}} * 100$$

La fenología del cultivo fue seguida mediante muestreos del número de plantas y tallos por metro lineal en diferentes momentos, así como la evolución de la materia seca y la altura de las plantas (anexo 5). Mas hacia el final del ciclo se evaluaron los restantes componentes del rendimiento. Para determinar la materia seca del cultivo primero se elegía un metro lineal que fuese representativo del cultivo en general. Se cortaban las plantas a ras del suelo, y se secaba a estufa a 105 °C durante 24 horas para luego registrar su peso. Al inicio del macollaje se contabilizaron 200

plantas por  $m^2$  con dos macollos por plantas. Ya para el siguiente muestreo, cercano al 70 % de primordio, el cultivo contaba con 367 tallos por  $m^2$ . El último muestreo de tallos fue en la cosecha el 26 de marzo, donde se contabilizaron 560 tallos por  $m^2$ .

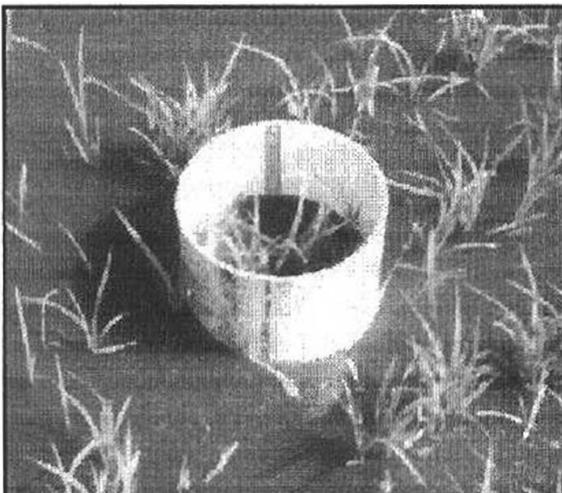
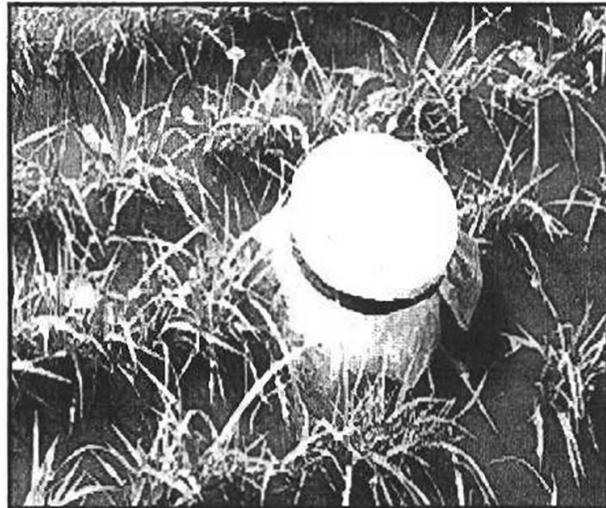


Se registro la evapotranspiración, transpiración e infiltración en lisímetros construidos para tal fin. Dichos lisímetros consistían en tubos de PVC de 0.20 m de diámetro y 0.40 m de longitud abiertos en ambos extremos. Para la medición de la altura del agua se colocó una cinta métrica de 20 cm de longitud del lado de adentro. Para medir la transpiración se colocaron pequeños cubos de espuma-plast que flotaban en el agua y suprimían la evaporación del agua en un 90 % (Figura 16).

**FIGURA 16:** Lisímetro utilizado para medición de Transpiración.

En los lisímetros donde se registraba la infiltración se eliminaron las plantas y se cubrió la superficie superior del tubo con bolsas de nylon, para evitar la entrada del agua de lluvia y la pérdida por evaporación de la lámina de agua (Figura 17).

**FIGURA 17:** Lisímetro utilizado para medición de Infiltración.



Para medir la evapotranspiración se usaron lisímetros descubiertos, donde se registraba pérdidas por transpiración, evaporación del agua libre e infiltración. Figura 18

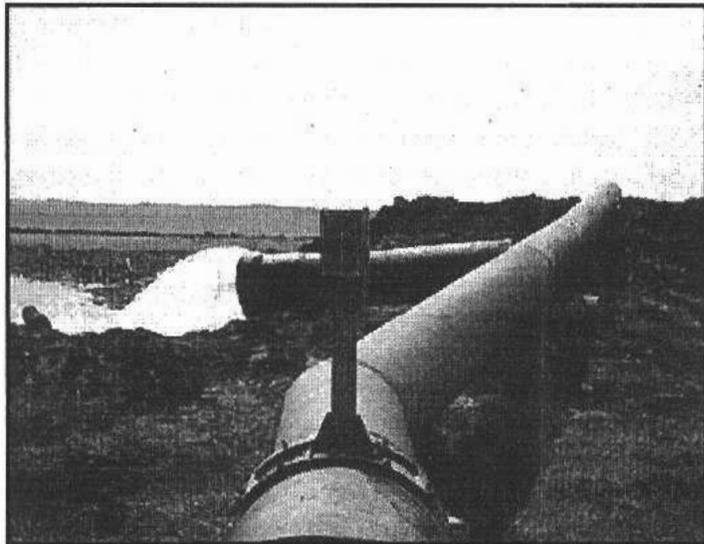
**FIGURA 18:** Lisímetro utilizado para medición de evapotranspiración.

Se construyeron 30 lisímetros de los cuales 10 se utilizaron para medir la evapotranspiración, 10 para medir la transpiración y 10 para medir la infiltración. Todos los lisímetros fueron colocados en dos filas a ambos lados de una taipa quedando 15 lisímetros de cada lado para así evitar el pisoteo del cultivo y facilitar el registro de los datos. (Figura 19)



**FIGURA 19:** Ubicación de los lisímetros en la chacra.

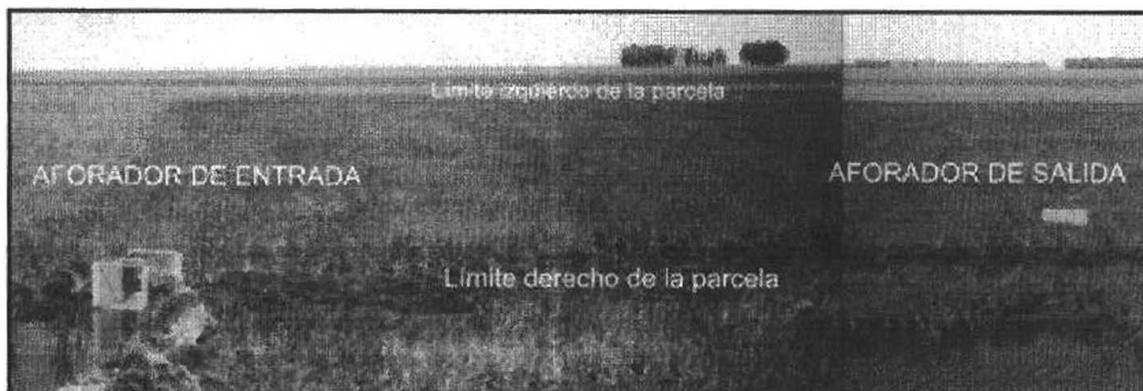
Por otro lado se registraba el ingreso de agua a la chacra mediante un aforador volumétrico de hélice, colocado en la cañería de impulsión del sistema de bombeo (Figura 20). El registro se llevaba a cabo leyendo un acumulador de vueltas, que fue llevado a cero cuando se inició el riego. Cada unidad que registraba el



medidor correspondía a  $4.8 \text{ m}^3$  de agua, esto permitía conocer el volumen de agua que era derivado para regar una superficie de 64.2 has, determinando así el volumen por hectárea bombeado.

**FIGURA 20:** Aforador volumétrico de hélice

Para saber la proporción de agua que se perdía por escurrimiento se colocaron dos estructuras precalibradas de aforo de tipo garganta cortada ( $20 \times 90 \text{ cm}$ ), trabajando en condiciones de escurrimiento libre. Se instaló uno a la entrada de la parcela y otro sobre una taipa a un nivel más bajo, registrándose así un volumen de entrada y otro de salida. El área que encerraban ambos aforadores era de aproximadamente 1 há. Figura 21.



**FIGURA 21:** Ubicación en la chacra de los aforadores garganta cortada.

También se canalizaron todos los bordes de dicha parcela, con el fin de conducir el agua que filtrara por las rondas hacia el cuadro donde estaba instalado el aforador de salida, quedando así medidas en él las pérdidas por dicho concepto.

A efectos de tener una medición precisa sobre la lluvia caída sobre el sitio mismo del ensayo se instaló un pluviómetro, registrándose la fecha y el monto de la misma en una planilla.

También se llevo a cabo un seguimiento semanal de las variaciones del volumen de agua en la represa, para tener registrado periódicamente cual era la evolución del gasto a nivel de fuente de agua. Para poder llevar a cabo estos registros se colocaba una estaca a la altura del pelo de agua y con un nivel se media y calculaba la diferencia de nivel que existía entre dichas estacas y un nivel de referencia instalado en la misma cota del piso del vertedero. Los datos se anotaban en una planilla en la que constaba la fecha en la cual se instalaba cada estaca y la diferencia de nivel de esta con respecto a la referencia (anexo 6).

Aproximadamente cada 2 días se asistía a la chacra en donde se seguía una rutina que consistía primero en la lectura de la altura del agua en cada uno de los lisímetros y su posterior recarga para llevarlos a la altura de la lámina de agua del cultivo, anotándose en una planilla ambos valores (anexo 7). Posteriormente se registraba la lectura del aforador volumétrico ubicado en el sistema de impulsión (anexo 9) y también las lecturas de los aforadores garganta cortada a la entrada y salida de la parcela anteriormente mencionada. Por ultimo se leía el pluviómetro registrándose los datos de lluvia caída. Semanalmente se estaqueaba el pelo de agua del lago de la represa y se media con un nivel la diferencia de altura entre éste y la referencia.

En la figura 22 se aprecia un croquis de la chacra.

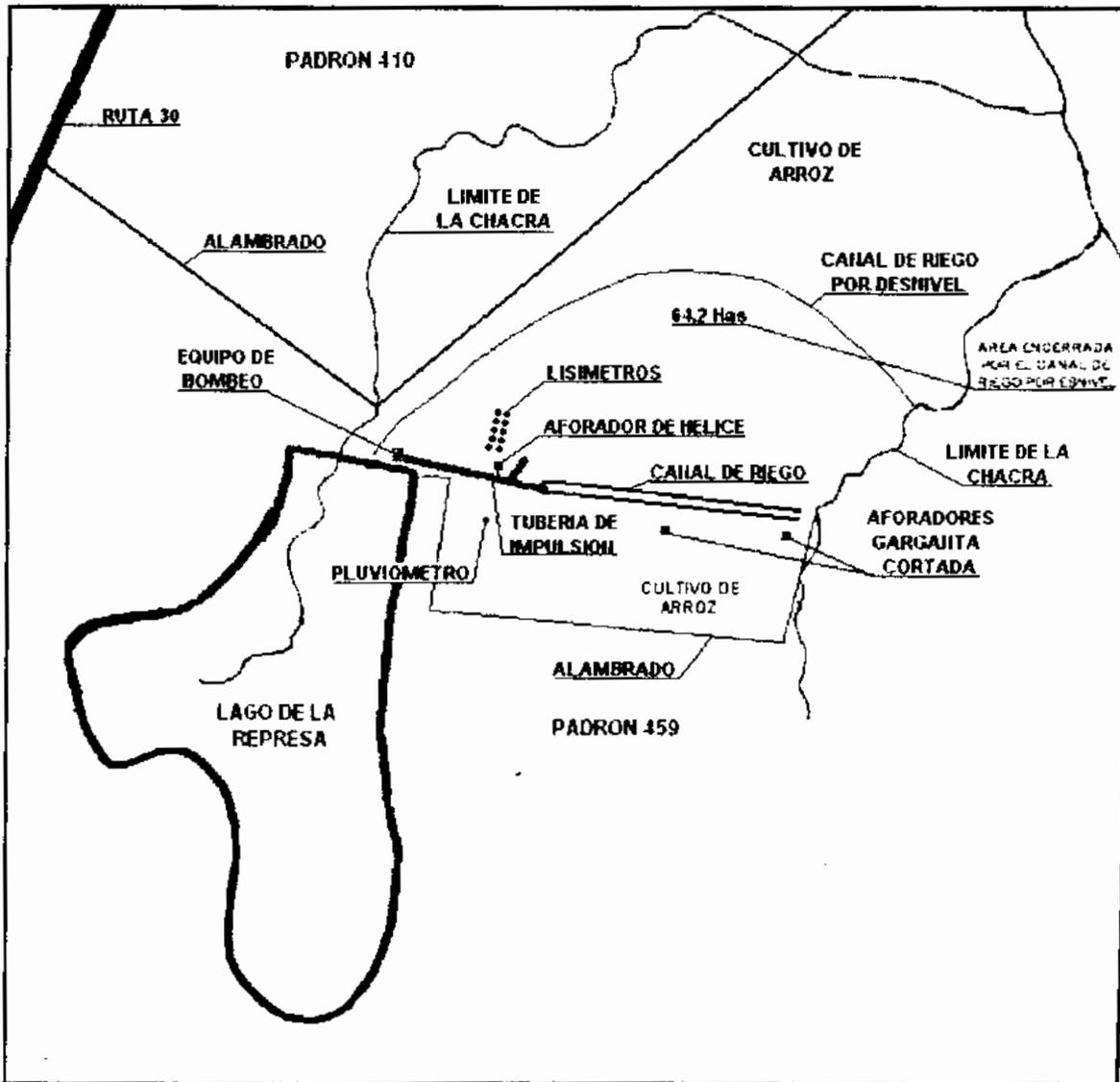


FIGURA 22: Croquis de la chacra donde se llevo a cabo el experimento.

La chacra contaba con un sistema de riego que es representativo en la región, utilizando una represa como fuente de agua y alternándose zonas de riego por desnivel y bombeo. La superficie también es representativa, contando esta con suelos de basalto profundo y superficiales asociados, que son característicos de la gran mayoría de los suelos cultivados con arroz en la zona norte.

Esto quiere decir que el ensayo se desarrolló en una situación muy similar a la encontrada en la mayoría de los casos y que por lo tanto la información generada en él puede ser extrapolable.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1 GASTOS TOTALES

Los gastos totales se midieron en dos situaciones distintas, una midiendo el gasto en el aforador del levante, que registra el agua que se consumió en el sitio del ensayo de 64.2 has. La otra es la medida directamente en el lago de la represa que se prorroga a las 180 has de cultivo.

#### 4.1.2 Gasto medido en el aforador

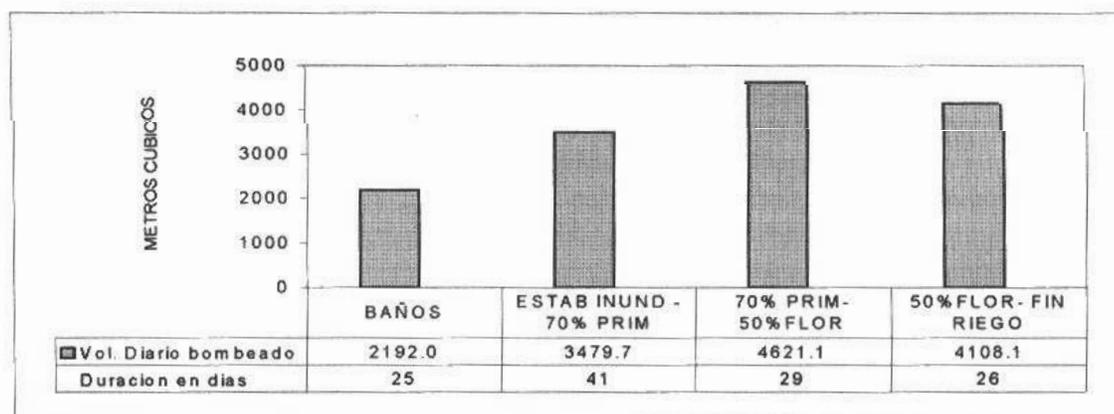
Se midió un volumen de agua consumido desde el establecimiento de la inundación hasta el retiro del agua de 469802.7 m<sup>3</sup> lo que estaría indicando un consumo por hectárea de 7318 m<sup>3</sup> (anexo 9).

A este valor se le debe sumar el agua que se consumió antes de la instalación del aforador durante el período de baños. Por baño se gasto 685 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> en elevar la humedad del suelo. Asumiendo un 50 % en la eficiencia de aplicación del baño el consumo por baño pasaría a 1370 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Como se efectuaron dos baños el consumo total en el período de baños sería de 2740 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (anexo 3).

Resumiendo, el gasto total en todo el período del ensayo fue de 2740 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> en baños, mas 7318 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> desde inicio de inundación hasta el retiro del agua, esto arroja un total de 10058 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ha de agua suministrados. Al sumarle 3550 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> aportado por las precipitaciones, el valor total consumido por el cultivo sería de 13608 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

La distribución de dicho gasto en las sucesivas etapas del cultivo se visualiza en el figura 23.

FIGURA 23: Volumen diario bombeado por etapa.



Estos datos nos permiten ver que en la etapa de baños el sistema aporta un bajo volumen diario puesto que solamente se bañaron 20 has diarias, en el establecimiento de la inundación el volumen diario es algo mayor debido que se pueden inundar 40 has por día. En el mantenimiento de la inundación es donde se requiere el mayor aporte de agua por parte del sistema, puesto que en este caso se debe mantener la lámina de agua en la totalidad la superficie cultivada. En esta situación el caudal por hectárea es bajo, contrariamente a lo que sucede en la etapa de baños donde el caudal por hectárea es el mayor en todo el período.

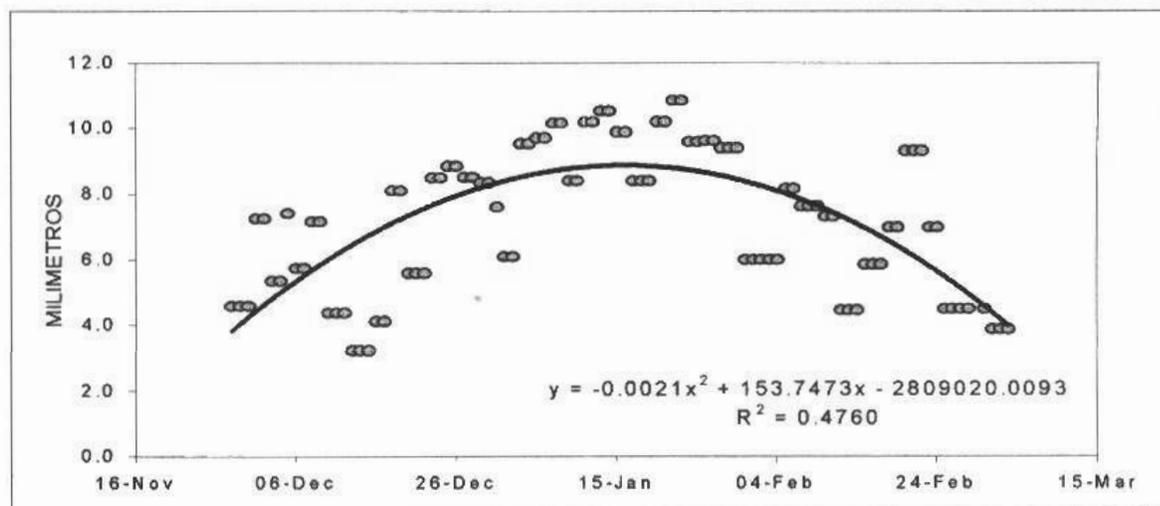
#### 4.1.2 Gasto medido en fuente de agua

El volumen por hectárea consumido en todo el ciclo de cultivo, en las 180 has sembradas fue de  $7613 \text{ m}^3$ , lo que sumado a las lluvias caídas en el período arrojaría un volumen de  $11163 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  según el Método de Temez Simplificado. Anexo 8. El volumen calculado por diferencia entre estacas fue de  $8890 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , sumando las precipitaciones este asciende a  $12440 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$

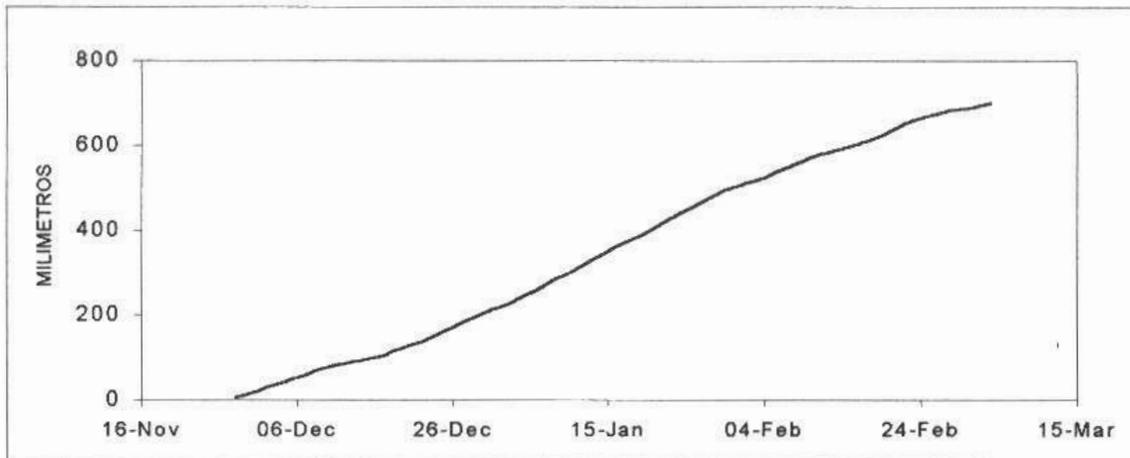
### 4.2 COMPONENTES DEL GASTO

#### 4.2.1 Evapotranspiración

En la figura 24a se presentan las gráficas de evapotranspiración acumulada durante el período de inicio de inundación hasta retiro del agua y la tendencia que sigue la evapotranspiración diaria para ese período. (anexo 10)



**FIGURA 24 a:** Evapotranspiración diaria desde el establecimiento de la inundación hasta fin de riego



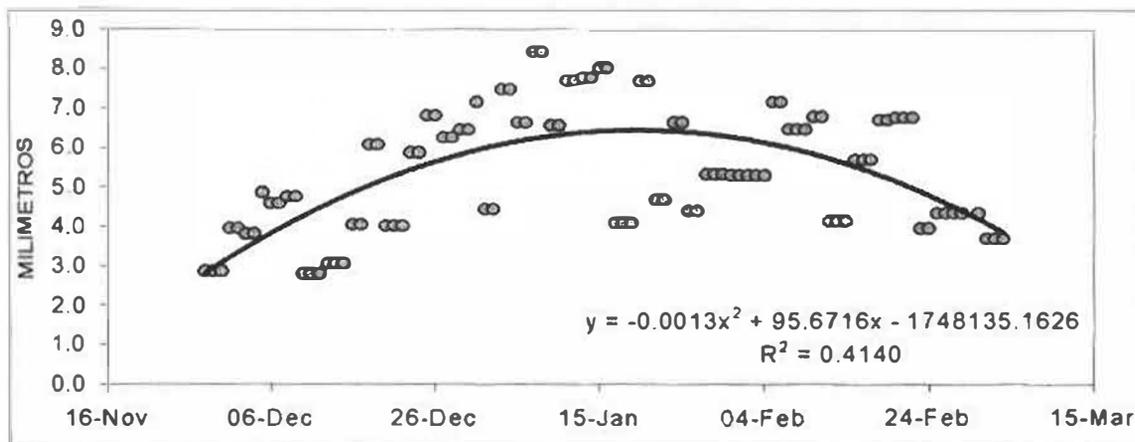
**FIGURA 24b:** Evapotranspiración acumulada

En la figura 24 se observa que las mediciones comenzaron el 28 de noviembre momento en que se estableció la inundación en la cual el cultivo estaba iniciando el macollaje (1 a 2 macollos por planta). En el gráfico acumulado (24b) vemos como desde esta fecha hasta el 8 de enero cuando el cultivo se encuentra en el 70 % de primordio, este ya había evapotranspirado 282.6 mm. El 6 de febrero el cultivo se encontraba en 50 % de floración, y el gasto acumulado medido hasta este momento era de 540 mm. Para luego finalmente registrarse el 4 de marzo, momento de finalizado el riego un total de **698 mm evapotranspirados**.

Por otro lado en la gráfica 24a vemos la tendencia que siguió la evapotranspiración diaria. Cuando se estableció la inundación las primeras medidas estaban en el entorno de 4.6 mm diarios, y fue aumentado gradualmente llegando a 10.1 mm por día en 70 % de primordio y se mantuvo con escasa variaciones hasta 50 % de floración donde se registraron 8.2 mm por día. A partir de este momento la caída se hace más notoria llegando a fin de riego en un valor de 4 mm por día. Esta evolución se ve claramente en la línea de tendencia ajustada a la nube de puntos. El máximo valor se registró el 23 de enero cuando el cultivo estaba cercano a inicio de floración, donde el valor obtenido fue de 10.8 mm. El promedio del período fue de 7.2 mm diarios.

#### 4.2.1.1 Transpiración

La figura 25 muestra los gráficos acumulados y diarios para la transpiración: medida en el campo. Anexo 11.



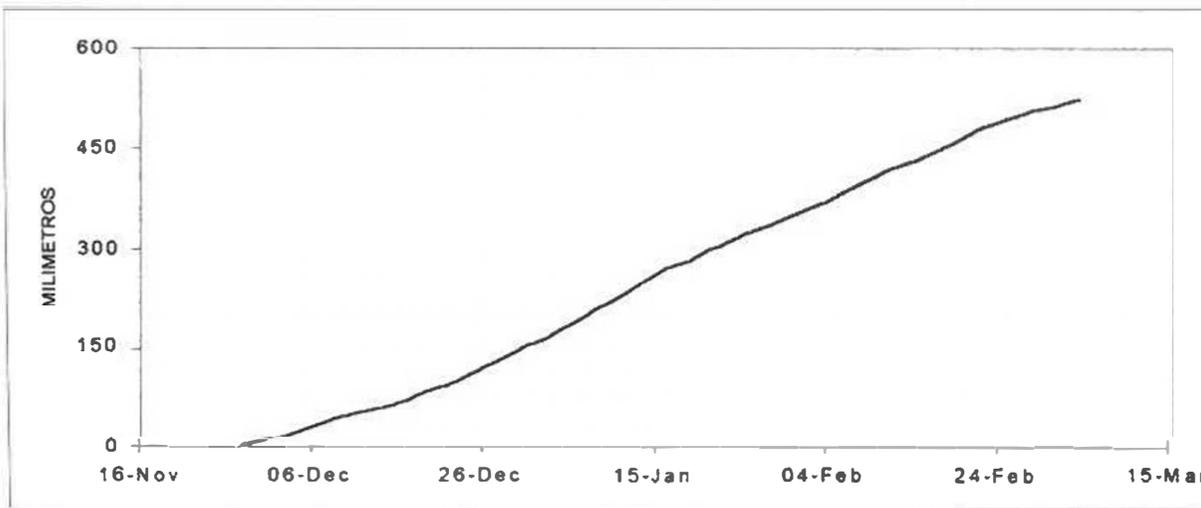
**FIGURA 25 a:** Transpiración diaria desde el establecimiento de la inundación hasta fin de riego

Se puede apreciar como el gasto acumulado (gráfica 25b) por concepto de transpiración sigue una línea muy similar a la observada anteriormente para la evapotranspiración, a diferencia de que la primera como era previsible tuvo gastos sensiblemente menores. Al 70 % de primordio el cultivo transpira 210 mm, posteriormente en 50 % de floración el consumo registrado fue de 385 mm, para finalmente pasar a un consumo total una vez finalizado el riego de **523 mm transpirados**.

Para el caso de la transpiración diaria se observa una línea de tendencia en general muy similar a la de evapotranspiración. En la gráfica 25a se observa que desde el establecimiento de la inundación hasta el 70 % de primordio los valores diarios evolucionan desde un registro inicial de 2.9 mm hasta 8.4 mm, mostrando una tasa de incremento muy similar a la de evapotranspiración.

Desde este período hasta 50 % de floración, se alcanza el máximo en la línea de tendencia a pesar de que la variación es escasa, con un valor registrado en dicho estado fenológico de 6.9 mm diarios. Por último desde 50 % de floración a fin de riego se observa una caída en la tasa de transpiración siendo esta algo menor que la medida para el caso de evapotranspiración, pasando de los 6.9 mm mencionados con anterioridad a 3.7 mm por día al finalizar el riego.

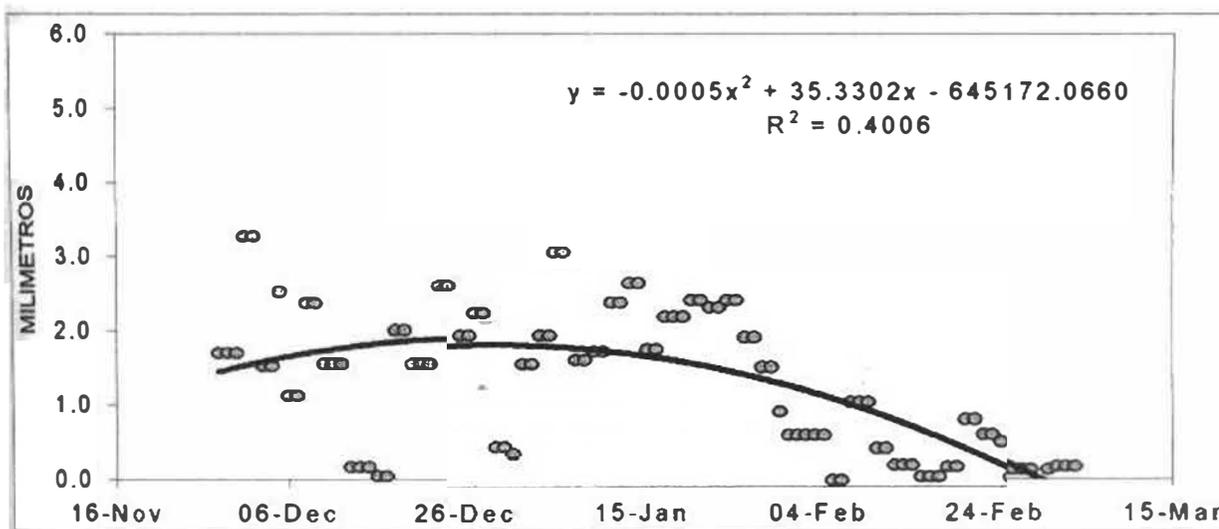
El máximo valor registrado fue el 8 de enero cuando el cultivo estaba en 70 % de primordio registrándose 8.4 mm diarios y el promedio para todo el periodo fue de 5.4 mm por día.



**FIGURA 25b:** Transpiración acumulada

#### 4.2.1.2 Evaporación

La figura 26 muestra la evolución diaria y acumulada de la evaporación, durante todo el período del ensayo (anexo 12). La figura 26a muestra que la evaporación comienza con valores de 1.7 mm diarios con picos que alcanzan los 3 mm/día. Al 70 % de primordio los valores oscilan entre 1.7 y 3 mm por día, para luego descender alcanzando 0.7 mm/día cuando el cultivo alcanza el 50 % de floración. De ahí en adelante la evaporación es prácticamente nula con valores muy cercanos a cero hasta finalizar el riego. Esta evolución es clara si se observa la línea de tendencia. La evaporación diaria promedio para el período fue de 1.4 mm.



**FIGURA 26 a:** Evaporación diaria desde el establecimiento de la inundación hasta fin de riego

La evaporación acumulada se observa en la figura 26b, donde los valores evaporados alcanzan los 73 mm cuando el cultivo esta en 70 % de primordio. Al 50 % de floración la evaporación fue de 124.1 mm, para finalmente llegar a 135.2 mm evaporados durante el periodo de riego.

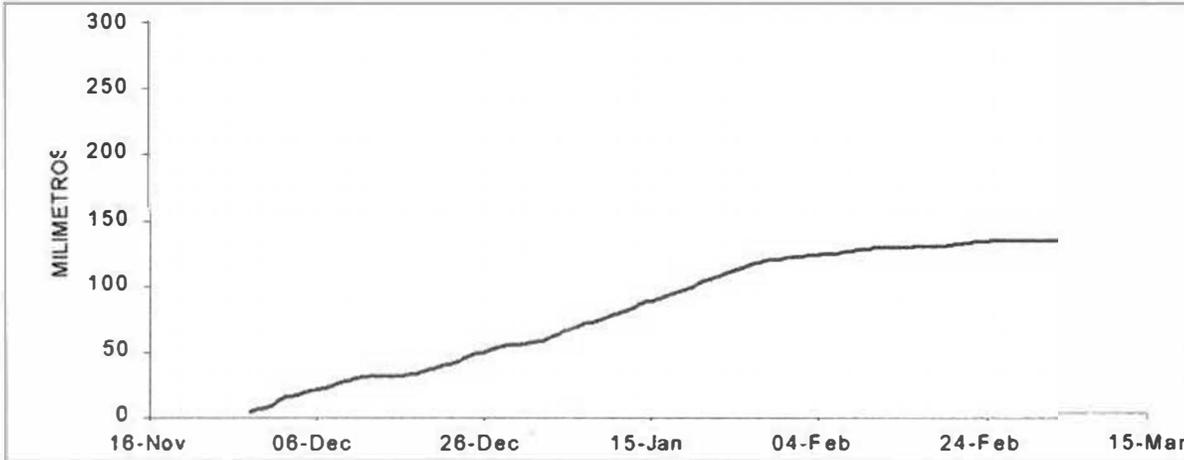


FIGURA 26b: Evaporación acumulada

#### 4.2.1.3 Comportamiento de la evapotranspiración.

En el inicio de las mediciones (establecimiento de la inundación) la evapotranspiración registrada consta de dos componentes fundamentales, la evaporación de la lámina de agua y la transpiración de las plantas. La transpiración comienza al momento de establecer la inundación con valores superiores a la evaporación del agua, transformándose en todo el período en el proceso dominante, siendo este el que mejor explica la curva de evapotranspiración. Figura 27.

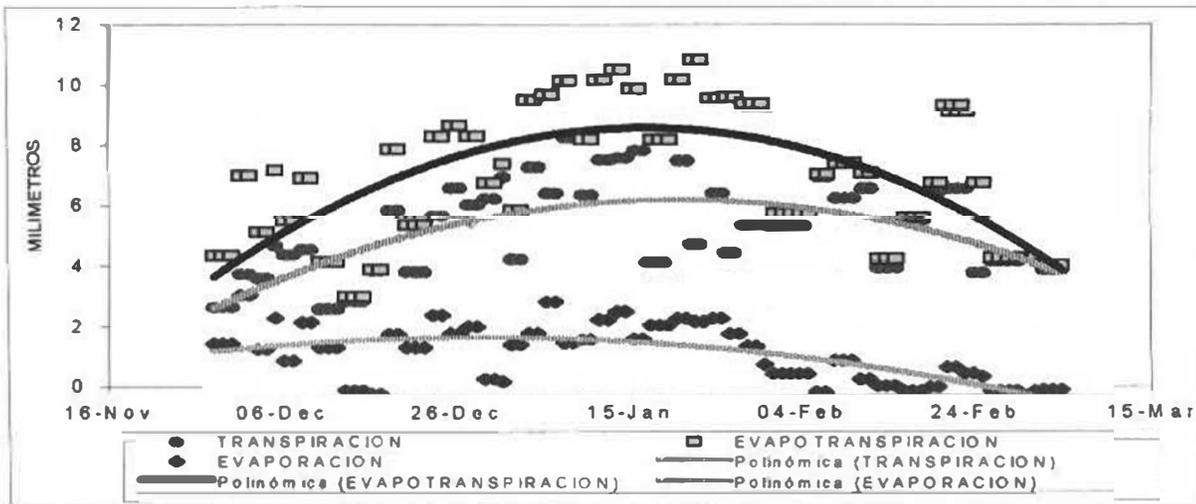


FIGURA 27: Valores diarios de ET, T y E ajustados a una línea de tendencia

A medida que se desarrolla el cultivo vemos como la transpiración aumenta significativamente, provocando como consecuencia un similar aumento en la evapotranspiración. Esto conlleva a un descenso en la evaporación.

Cuando las plantas alcanzan su estado reproductivo se observa un estancamiento de la transpiración y consecuentemente de la evapotranspiración. En esta etapa el cultivo ha generado una cantidad de biomasa importante (11000 Kg/ha de MS) lo que lleva a una baja evaporación, y a que el consumo por transpiración no siga aumentando, puesto que comienza a producirse un sombreado hacia los estratos inferiores del cultivo.

De la floración en adelante se registra un importante descenso tanto de la transpiración como de la evapotranspiración. En este período la cantidad de biomasa es aún mayor, por lo que es prácticamente nula la evaporación de la lámina de agua. El sombreado sobre los estratos más bajos del cultivo es más intenso a la vez de que las hojas más viejas entran en senescencia, lo que se traduce en el mencionado descenso de la transpiración. Los valores acumulados se observan en la figura 28.

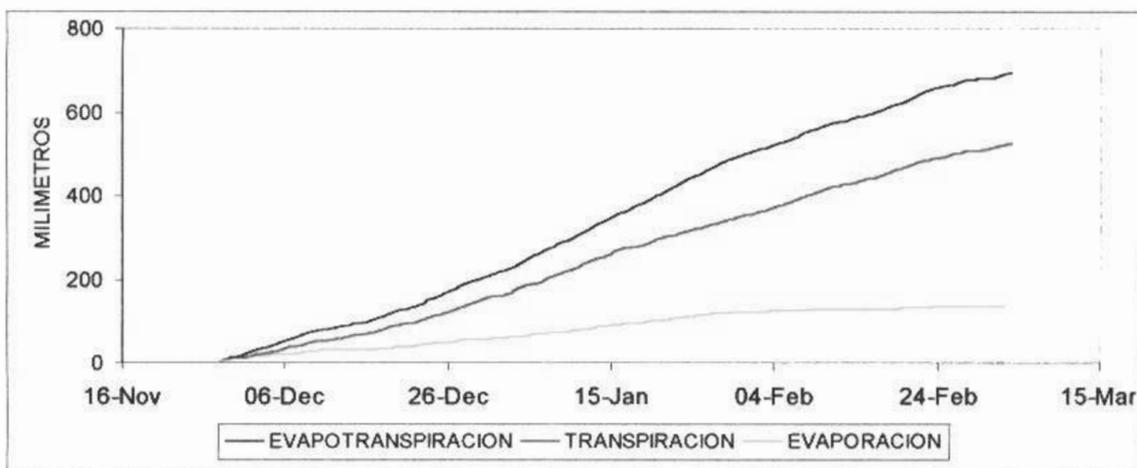


FIGURA 28: ET, T y E acumulados.

#### 4.2.2 Percolación

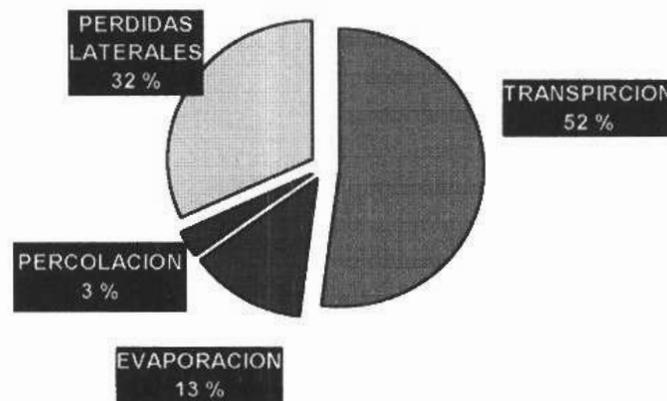
La percolación registrada en todo el período se caracterizó por valores bajos con un promedio de 0.4 mm por día. En los 96 días de riego la percolación alcanzó los 34 mm, nunca superando en promedio 1 mm por día.

#### 4.2.3 Perdidas laterales.

Las pérdidas por desbordes, filtraciones y roturas de taipas se calculó como la proporción de agua que escurría a través del segundo aforador garganta cortada con respecto al aforador de entrada. Al promediar los valores obtenidos en los dos

aforadores del cuadro cultivado, se obtuvieron caudales de 4.6 litros por segundo y 1.5 litros por segundo a la entrada y salida respectivamente. Por lo tanto al dividir ambos valores,  $(1.5/4.6 * 100)$  se obtiene que el 32 % del agua que entra al cuadro sale por concepto de pérdidas; si tenemos en cuenta que en la chacra entraron  $7317.8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (desde establecimiento de inundación hasta fin de riego) mas 288 mm de lluvia, las pérdidas laterales serían de  $3263 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Este valor es extrapolado a toda la chacra a fin de tener cuantificado este componente en el balance hídrico.

A fin de analizar los componentes del gasto, la figura 29 detalla la proporción que ocupa cada uno de ellos dentro del consumo total de agua en el cultivo de arroz.



**FIGURA 29:** Proporción de cada componente del gasto. Anexo 14.

### 4.3 BALANCE HIDRICO

La ecuación utilizada en el balance hídrico es muy similar a la mencionada por A. Roel (1996) en un trabajo donde compara el balance hídrico en dos sistemas de riego (Pin – Point y Baño Inundación).

Para este caso la ecuación del balance hídrico consta de los siguientes componentes:

$$P + R = ET + PI + I$$

Donde P es precipitación, R riego, ET evapotranspiración, PI pérdidas laterales e I es percolación. Los montos obtenidos en cada componente se pueden ver en el cuadro 6.

|          | CONCEPTO           | MONTO (mm) | Porcentaje |
|----------|--------------------|------------|------------|
| ENTRADAS | Precipitación      | 288        | 28.2 %     |
|          | Riego              | 731.7      | 71.8 %     |
| SALIDAS  | Evapotranspiración | 698.8      | 66 %       |
|          | Pérdidas laterales | 326.3      | 31 %       |
|          | Percolación        | 34         | 3 %        |

CUADRO 7: Componentes del balance hídrico

#### 4.4 RELACION ETc/ ETA

En la figura 30 se observa la evolución de la relación entre la evapotranspiración del cultivo y la evaporación del tanque "A".

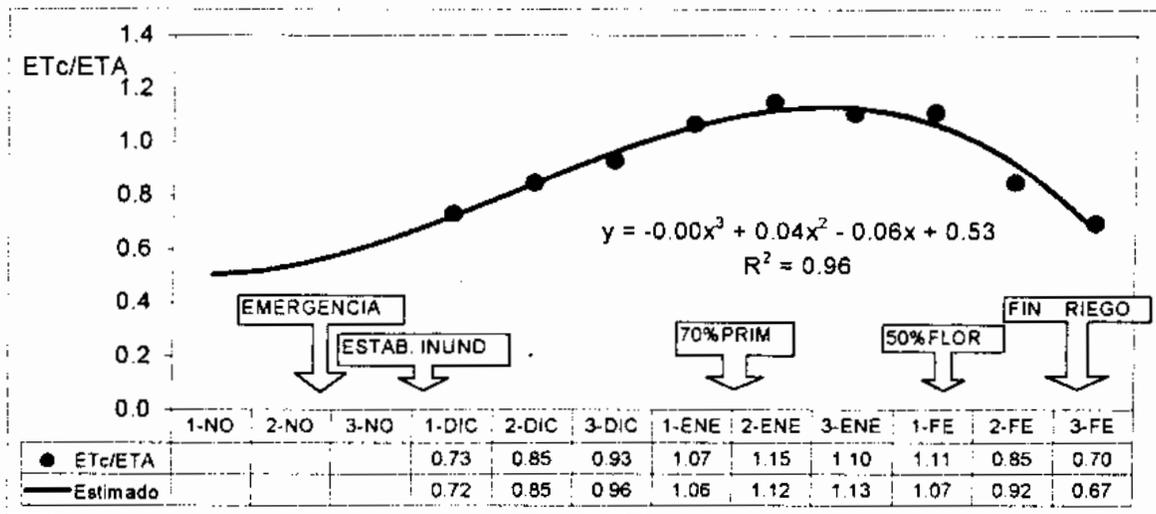


FIGURA 30: Evolución de la evapotranspiración en relación a la evaporación del tanque "A".

Comparativamente con el trabajo de Blanco (1996), vemos una tendencia similar con una relación variable entre las diferentes etapas del ciclo del cultivo. Al inicio de la inundación Blanco (1996), reporta valores de 0.60, al final del ciclo (cosecha) encontró valores de 0.90 con un máximo de 1.25 a los 15 días de floración. Los valores encontrados fueron algo diferentes a los reportados por Blanco (1996), variando desde 0.73 al inicio de la inundación a un máximo de 1.15 luego de haber iniciado la etapa reproductiva. Pasado la floración la relación desciende hasta alcanzar un valor de 0.70 al finalizar el riego

El coeficiente para todo el período (28 de noviembre al 4 de marzo) fue calculado utilizando los valores totales de ETc y ETA, es decir:

ETc total = 698 mm  
ETA total = 738.4 mm

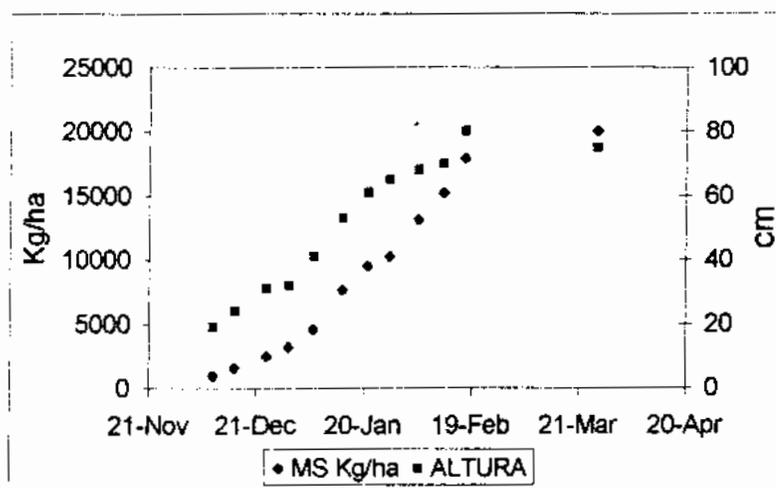
Si  $ETc = \text{Coeficiente} * ETA$ , para calcular el coeficiente se divide el valor de ETc sobre el de ETA; entonces tenemos que:

$$\frac{ETc (698 \text{ mm})}{ETA (738.4 \text{ mm})} = 0.94$$

Este valor tiene cierta similitud con los reportados por Meyer (1994) y Evans (1971), siendo estos de 0.90 y 0.98 respectivamente.

#### 4.5 RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES

La evolución de la materia seca y altura del cultivo se pueden ver en la figura 31. (anexo 5)



**FIGURA 31:** Evolución de la materia seca y altura.

La evaluación final de los componentes del rendimiento se detallan en el cuadro 8.

**CUADRO 8:** Rendimiento de grano, índice de cosecha y los componentes del rendimiento del cultivo.

| Rend. Kg ha | Índice de cosecha | Peso 1000 gr | Espigas m <sup>2</sup> | Granos llenos/panoja | Tallos por m <sup>2</sup> | Fertilidad % |
|-------------|-------------------|--------------|------------------------|----------------------|---------------------------|--------------|
| 11218       | 56 %              | 23.56        | 485                    | 110                  | 560                       | 86           |

El rendimiento en grano a nivel de industria fue de 175 bolsas por hectárea secas, sanas y limpias, y estimando una merma del 22 % en el proceso industrial da como resultado un rendimiento en la chacra de 224 bolsas por hectárea (11200 kg/ha).

Desde el punto de vista del riego la eficiencia puede ser definida como la relación entre el total de agua utilizada en la parcela en los procesos de evapotranspiración y el agua recibida por la parcela, ya sea en forma de riego o lluvia. Desde el punto de vista fisiológico la eficiencia del uso del agua puede ser representada por la relación entre los kg de grano producidos y los milímetros de agua evapotranspirada. Ambas relaciones se pueden ver en el cuadro 9.

| <b>EFICIENCIAS</b>                               |             |
|--|-------------|
| <b>Desde el punto de vista del riego</b>         |             |
| Riego  | 1005.7      |
| Evapotranspiración                               | 698.8       |
| <b>EFICIENCIA</b>                                | <b>0.70</b> |
| <b>Desde el punto de vista del agua recibida</b> |             |
| Riego  | 1005.7      |
| Lluvia   | 355         |
| Evapotranspiración                               | 698.8       |
| <b>EFICIENCIA</b>                                | <b>0.51</b> |
| <b>Desde el punto de vista fisiológico</b>       |             |
| Rendimiento kg ha                                | 11218       |
| Evapotranspiración                               | 698.8       |
| <b>EFICIENCIA (kg/ha mm<sup>-1</sup>)</b>        | <b>16</b>   |

**CUADRO 9:** Eficiencia del uso del agua por el cultivo.

Desde el punto de vista del riego la alta eficiencia podría explicarse básicamente debido a la elevada proporción del agua evapotranspirada con relación al agua suministrada. Además, se debe tener en cuenta que la sistematización de la chacra al estar bien lograda permitió bajas pérdidas en la conducción y suministro, lo que hizo que el agua extraída de la represa quedara efectivamente disponible para el cultivo. Desde el punto de vista fisiológico la alta eficiencia es una consecuencia básicamente del elevado rendimiento obtenido.

## 5 CONCLUSIONES

La medición del consumo de agua y sus componentes en el cultivo de arroz fue posible utilizando aforadores y microlisímetros de construcción sencilla. Los datos obtenidos de evapotranspiración fueron razonables, validando así la metodología de los microlisímetros. Esto presenta un método que permite obtener datos confiables en condiciones de campo con un importante grado de exactitud y sensibilidad.

Determinar el volumen de pérdidas por escurrimiento lateral fue posible utilizando aforadores garganta cortada, aunque se debería ajustar el método para medir las pérdidas laterales

El cultivo se desarrolló en un ambiente de alta demanda atmosférica, en un año particularmente poco lluvioso y con una radiación incidente más alta que el promedio histórico, lo que redundó en una elevada evapotranspiración (690 mm). Además, como era de esperar se encontró una alta correlación entre la ET y la materia seca producida ( $R^2 = 0.98$ , anexo 13). La alta producción de biomasa registrada (20000 Kg MS/ha) resultó en un elevado rendimiento (11280 Kg/ha).

Del total del volumen aportado por riego (731 mm) mas lluvia (288 mm) el cultivo uso 523 mm para transpiración (52 %), 135.2 mm para evaporación (13 %), 34 mm percolaron (3 %) y 326.3 mm se perdieron como escurrimiento lateral ocupando el 32 % del volumen aportado.

De esta manera podemos enfocarnos a la evapotranspiración como un proceso favorable, siendo deseable maximizar el gasto por este concepto. Ajustar el uso del agua reduciendo las pérdidas laterales causadas por filtraciones, desbordes, roturas de rondas y taipas resulta ser un aspecto importante dado la importante proporción en el consumo total.

El gasto de agua por concepto de baños representó el 20 % del total de agua recibida (riego + lluvia) por el cultivo. Esto determina que en la medida que se pueda acortar la etapa de baños, se estaría realizando un uso más eficiente del recurso.

La información generada en este trabajo permite obtener una herramienta de aplicación inmediata como es la relación  $ET_c/ET_a$  para las condiciones climáticas de la zona norte. El haber logrado el conocimiento de cómo se comporta este parámetro durante el período inundado, proporciona una metodología de fácil y práctica estimación de la evolución del gasto por parte del cultivo mediante información de Tanque "A".

La utilidad de esto radica en saber cuanto ha gastado el cultivo en un determinado momento y su relación con el nivel de abatimiento de la represa. Concretamente mediante la aplicación de lo mencionado, podemos tener una idea bastante clara de si el agua remanente en la represa nos alcanzará para completar el riego.

## 6 RESUMEN

Se realizó un experimento para determinar los gastos de agua en un cultivo de arroz y de cada uno de los componentes que generaron dicho gasto.

El experimento se llevó a cabo en el período noviembre – marzo de la zafra 1998-99 en una chacra comercial, situada en la Ruta 30 a la altura del Km 28 del departamento de Artigas, Uruguay. En el área de estudios los suelos dominantes son Vertisoles Háplicos y Brunosoles Eutrícos Típicos pertenecientes a la unidad Itapebí - Tres Árboles.

La variedad sembrada fue el Paso 144 a una densidad de 170 Kg ha. La cosecha se realizó con máquina comercial entre el 1 al 20 de abril con un rendimiento promedio de 11200 Kg ha de chacra.

La transpiración, evaporación y percolación fueron determinadas mediante mirolisímetros y el volumen gastado en baños mediante el método gravimétrico. También se evaluó el consumo a nivel de represa.

El cultivo evapotranspiró desde el inicio de la inundación hasta 70 % de primordio 6.7 mm/día en promedio, desde 70 % de primordio hasta 50 % de floración promedió los 9.0 mm/día y desde 50 % de floración hasta finalizado la inundación se registró un valor promedio de 6.1 mm diarios.

El total evapotranspirado por el cultivo en 96 días de riego fue de 690 mm, con un promedio diario de 7.2 mm. La transpiración para ese período fue de 523 mm, representando un 75 % del total evapotranspirado. La percolación fue de 34 mm y las pérdidas laterales de 326 mm representado el 3 % y 32 % del volumen usado por el cultivo.

La relación evapotranspiración/evaporación del tanque “A” (ETc/ETA) fue determinada, siendo variable con el momento del ciclo. Entre el inicio de la inundación y 70 % de floración la relación ETc/ETA fue en promedio de 0.83, entre 70 % de primordio y 50 % de floración fue de 1.10 y entre 50 % de floración y fin de inundación la relación fue de 0.88.

El registro del volumen que ingresó a la parcela en estudio, medido mediante un aforador de hélice arrojó un volumen de 7318 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> que fue consumido en el período de inundación, a esto se le suman 2740 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> utilizados en el período de baños lo que determina un gasto total suministrado por hectárea en el sitio del ensayo de 10058 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Las precipitaciones aportaron 3550 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, por lo tanto el volumen total recibido por el cultivo fue de 13608 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

Las pérdidas laterales representaron un 32 % del volumen que ingresó a la parcela, lo que resultaría en 326 mm ha perdidos por escurrimiento superficial.

## 7 SUMMARY

An experiment was carried out to measure the water consumption of a rice crop and each one of the components of that consumption.

The trial was carried out during the period November-March of the summer 1998-99, in a field belonging to a private producer. The field was located at the kilometer 28 of the 30 route in Artigas, Uruguay. In that area the dominant soils are Vertisoles háplicos y brunosoles eutrícos típicos, both of them belonging to the Itapebí Tres-Arboles soil unit.

The variety sowed was El Paso 144, with a sowing density of 170 Kg/ha. The harvest was realized with a commercial combine in between the first and the 20<sup>th</sup> of April. The average yield was 11280 kg/ha (gross yield).

Transpiration, evaporation and percolation was determined using lysimeters and the consumed volume for irrigation using the gravimetric method. It was also evaluated the water consumed at the dam.

The crop evapotranspired, from the beginning of the irrigation until 70% of panicle primordia 6.7mm/day as average; from 70% of panicle primordia until 50% of flowering 9.0mm/day; and from then to the end of the irrigation period 6.1mm/day.

The total evapotranspiration of the crop, during the 96 days of irrigation, was of 690mm, with an average of 7.2mm/day. The transpiration for this period was 523 mm, representing 75% of the total evapotranspired. Deep percolation was 34 mm and side losses 326.3 mm, being 3 % and 32 % of the whole volume used by the crop.

The side losses represented 32 % of the volume that entered the plot. That means that 3263 m<sup>3</sup>/ha were lost because of the superficial run off.

The ratio evapotranspiration/evaporation of class A pan, was determined along the crop cycle. It also shows the relative importance of the crop transpiration in respect to the evaporation in each moment of the cycle. Between the beginning of irrigation and 70% of panicle primordia the ratio ET/ETA was in average 0.83; Between 70% of panicle primordia and 50% of flowering was 1.10; and 50% of flowering and the irrigation end the ratio was 0.88.

The water volume that entered the plot under study, measured with an helix gauge was 7318m<sup>3</sup>/ha; it has to be added to that 2740m<sup>3</sup>/ha used before flooding, so the total volume consumed was 10058m<sup>3</sup>/ha. It rained 3550m<sup>3</sup>/ha, so the total volume received by the crop was 13608 m<sup>3</sup>/ha.

The volume of water consumed at the dam during the irrigation was 8890m<sup>3</sup>/ha, and if the rain (355 mm) is added to that, the total received by the crop reached 12440 m<sup>3</sup>.

## 8 BIBLIOGRAFIA

- BOUMAN, B.A.M; M.C.S. WOPEREIS; M.J. KROPFF; H.F.M. TEN BERGE; T.P. TUONG. 1994. Water use efficiency of flooded rice fields. II. Percolation and seepage losses. *Agricultural and Water Management*. 26:291-304
- DABNEY, S.M., and B.J. Hoff. 1989. Influence of water management on growth and yield of no-till planted rice. *Crop Science*. 29:746-752.
- DURAN, P; GARCIA, M; PUPPO, L; CHAMORRO, A; HAYASHI, R. 1999. Curso riego y drenaje. Montevideo. Facultad de Agronomía. 13 p.
- GAMARRA, G., 1996. Arroz: Manual de producción. Montevideo, Hemisferio Sur. pp:214-216.
- HUMPHREYS, E., W.S. Meyer, S.A. Prathapar and D.J. Smith. 1994. Estimation of evapotranspiration from rice in southern New south Wales: a review. In *Temperate rice conference, achievements and potentials*. Yanco, Australia. 21-24 February.
- JENSEN, J.R., and Md.M. Rahman. 1987. A semi-empirical model for calculating evaporation and transpiration from wetland rice. *Agricultural and Forest Meteorology*. 41:289-306.
- LOURENCE, F.J. and W.o. Pruitt. 1971. Energy balance and water use of rice grown in the Central Valley of California. *Agronomy. Journal*. 63:827-832.
- URUGUAY. M.G.A.P., 1994. Grupos de Suelos Indices de Productividad CONEAT. pp: 14, 18 y 94.
- ROEL, A. 1996. Balance hídrico y comportamiento productivo en dos manejos del riego de arroz. "Pin-Point" y Baño-Inundación. I.N.I.A., Serie Técnica Nº 81 pp:1-13
- ROEL, A. 1999. Riego: Manejo eficiente de la inundación. INIA. Resultados Experimentales 1998-1999. 5: 1-20.
- ROEL, A., LAVECCHIA, A., MENDEZ, J. 1997. Consumo de agua en chacras de productores. Resultados Experimentales 1996-1997. pp: 21-23.
- SHIH, S.F., G.S. RAHI, and D.S. HARRINSON. 1982. Evapotranspiration studies on rice in relation to water use efficiency. *Transactions of the ASAE* 25(3):702-707.
- TOMAR, V.S. and J.C. O'TOOLE. 1980b. Design and testing of microlysimeter for wetland rice. *Agronomy Journal*. 72:689-692

WOPEREIS M.C.S; B.A.M BOWMAN; M.S. KROPFT; H.F.M TEN BERGE;  
MALIGAYA A.R. 1994. Water use efficiency of flooded rice fields. I.  
Validation of the soli-water balance model SAWAH. Agricultural Water  
Management. 26:277-289.

**ANEXO 1: Cota de la represa, volumen embalsado y área del lago.**

| <b>Cota (m)</b> | <b>Volumen embalsado (m<sup>3</sup>)</b> | <b>Area del lago (m<sup>2</sup>)</b> |
|-----------------|--|--------------------------------------|
| <b>0</b>        | <b>0</b>                                 | <b>1600</b>                          |
| <b>1</b>        | <b>13000</b>                             | <b>24000</b>                         |
| <b>2</b>        | <b>65000</b>                             | <b>79000</b>                         |
| <b>3</b>        | <b>295000</b>                            | <b>280000</b>                        |
| <b>4</b>        | <b>771000</b>                            | <b>572000</b>                        |
| <b>5</b>        | <b>1449000</b>                           | <b>784000</b>                        |
| <b>5.59</b>     | <b>2000000</b>                           | <b>958640</b>                        |

**ANEXO 2: Temperatura media, mínima, máxima y el desvio de la zafra 1998-99 con la serie histórica (1966-98)**

| <b>DECAD</b> | <b>T MED 99</b> | <b>T MED SH</b> | <b>T MED DESVIO</b> | <b>T MIN 99</b> | <b>T MIN SH</b> | <b>T MIN DESVIO</b> | <b>T MAX 99</b> | <b>T MAX SH</b> | <b>T MAX DESVIO</b> |
|--------------|-----------------|-----------------|---------------------|-----------------|-----------------|---------------------|-----------------|-----------------|---------------------|
| 01-Nov       | 22.1            | 21.6            | <b>0.5</b>          | 15.3            | 15.7            | <b>-0.4</b>         | 28.9            | 27.4            | <b>1.5</b>          |
| 02-Nov       | 22.7            | 22.2            | <b>0.5</b>          | 16.6            | 15.9            | <b>0.7</b>          | 28.7            | 28.4            | <b>0.3</b>          |
| 03-Nov       | 22.5            | 22.9            | <b>-0.4</b>         | 15.6            | 16.4            | <b>-0.8</b>         | 29.5            | 29.4            | <b>0.1</b>          |
| 01-Dic       | 24.5            | 24.3            | <b>0.2</b>          | 16.8            | 17.7            | <b>-0.9</b>         | 32.2            | 30.9            | <b>1.3</b>          |
| 02-Dic       | 23.2            | 25.4            | <b>-2.2</b>         | 17.3            | 18.9            | <b>-1.6</b>         | 29.1            | 32              | <b>-2.9</b>         |
| 03-Dic       | 23.8            | 25.7            | <b>-1.9</b>         | 17.4            | 19              | <b>-1.6</b>         | 30.2            | 32.3            | <b>-2.1</b>         |
| 01-Ene       | 25.0            | 26.3            | <b>-1.3</b>         | 17.9            | 19.9            | <b>-2.0</b>         | 32.1            | 32.7            | <b>-0.6</b>         |
| 02-Ene       | 24.0            | 26.3            | <b>-2.3</b>         | 17.5            | 19.7            | <b>-2.3</b>         | 30.6            | 32.8            | <b>-2.2</b>         |
| 03-Ene       | 26.4            | 26.4            | <b>0.0</b>          | 20.1            | 20.3            | <b>-0.2</b>         | 32.7            | 32.5            | <b>0.2</b>          |
| 01-Feb       | 23.5            | 25.4            | <b>-1.9</b>         | 17.5            | 19.5            | <b>-2.0</b>         | 29.5            | 31.4            | <b>-1.9</b>         |
| 02-Feb       | 24.7            | 25.1            | <b>-0.4</b>         | 18.8            | 19.3            | <b>-0.5</b>         | 30.7            | 30.8            | <b>-0.1</b>         |
| 03-Feb       | 26.6            | 24.7            | <b>1.9</b>          | 20.0            | 18.7            | <b>1.3</b>          | 33.2            | 30.8            | <b>2.4</b>          |
| 01-Mar       | 28.3            | 24.7            | <b>3.6</b>          | 22.2            | 18.7            | <b>3.5</b>          | 34.3            | 30.7            | <b>3.6</b>          |
| 02-Mar       | 24.8            | 23              | <b>1.8</b>          | 19.0            | 17.3            | <b>1.7</b>          | 30.5            | 28.7            | <b>1.8</b>          |

**ANEXO 3: Valores de humedad del suelo pre. y post. baño obtenidos mediante el método gravimétrico.**

**ANTES DEL BAÑO**

| N° cápsula                   | P Húmedo<br>gramos | P seco<br>gramos | Peso<br>cápsula<br>gramos | P H peso | P S peso | Humedad<br>%P | Dap | mm/10 cm   |
|------------------------------|--------------------|------------------|---------------------------|----------|----------|---------------|-----|------------|
| <b>ANTES DEL BAÑO 0-3 cm</b> |                    |                  |                           |          |          |               |     |            |
| 359                          | 237.94             | 218.64           | 67.34                     | 170.6    | 151.3    | 12.8%         | 1.1 | 14.0       |
| 92                           | 224.24             | 202.64           | 72.52                     | 151.72   | 130.12   | 16.6%         | 1.1 | 18.3       |
| 46                           | 239.7              | 225.32           | 75.61                     | 164.09   | 149.71   | 9.6%          | 1.1 | 10.6       |
|                              |                    |                  |                           |          |          |               |     | <b>4.3</b> |

**ANTES DEL BAÑO 3-15 cm**

|    |        |        |       |        |        |       |     |             |
|----|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-----|-------------|
| 80 | 291.39 | 229.55 | 74.72 | 216.67 | 154.83 | 39.9% | 1.1 | 43.9        |
| 90 | 336.76 | 261    | 72.72 | 264.04 | 188.28 | 40.2% | 1.1 | 44.3        |
| 58 | 299.68 | 230.95 | 70.19 | 229.49 | 160.76 | 42.8% | 1.1 | 47.0        |
|    |        |        |       |        |        |       |     | <b>54.1</b> |

**POST BAÑO**

| N° cápsula              | P Húmedo<br>gramos | P seco<br>gramos | Peso<br>cápsula<br>gramos | P H peso | P S peso | Humedad<br>%P | Dap | mm/10 cm    |
|-------------------------|--------------------|------------------|---------------------------|----------|----------|---------------|-----|-------------|
| <b>POST BAÑO 0-3 cm</b> |                    |                  |                           |          |          |               |     |             |
| 48                      | 245.17             | 188.71           | 58.92                     | 186.25   | 129.79   | 43.5%         | 1.1 | 47.9        |
| 300                     | 241.6              | 187.26           | 66.41                     | 175.19   | 120.85   | 45.0%         | 1.1 | 49.5        |
| 58                      | 330.7              | 244              | 70.19                     | 260.51   | 173.81   | 49.9%         | 1.1 | 54.9        |
|                         |                    |                  |                           |          |          |               |     | <b>60.9</b> |

**POST BAÑO 3-15 cm**

|     |        |        |       |        |        |       |     |             |
|-----|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-----|-------------|
| 317 | 347.48 | 251.94 | 64.45 | 283.03 | 187.49 | 51.0% | 1.1 | 56.1        |
| 321 | 325.43 | 243.91 | 69.19 | 256.24 | 174.72 | 46.7% | 1.1 | 51.3        |
| 385 | 306.96 | 223.78 | 64.73 | 242.23 | 159.05 | 52.3% | 1.1 | 57.5        |
|     |        |        |       |        |        |       |     | <b>66.0</b> |

|                    | pre-<br>baño | post-baño | Volum<br>baños<br>m <sup>3</sup> /ha |
|--------------------|--------------|-----------|--------------------------------------|
| <b>0-3 cm</b>      | 4.3          | 60.9      | 566                                  |
| <b>3-15<br/>cm</b> | 54.1         | 66        | 119                                  |
|                    |              |           | <b>685</b>                           |

**ANEXO 4: Densidad aparente.**

$$\text{Dap} = \frac{\text{Peso seco de la muestra (gr)}}{\text{Volumen que ocupaba (ml)}}$$

$$\text{Dap} = \frac{1595,7}{1450} = 1.10$$

**ANEXO 5: Evolución de la materia seca y la altura del cultivo.**

| FECHA    | MS Kg/ha | ALTURA cm |
|----------|----------|-----------|
| 09/12/98 | 987.5    | 19        |
| 15/12/98 | 1575     | 24        |
| 24/12/98 | 2500     | 31        |
| 30/12/98 | 3197.5   | 32        |
| 06/01/99 | 4575     | 41        |
| 14/01/99 | 7657.5   | 53        |
| 21/01/99 | 9485     | 61        |
| 27/01/99 | 10250    | 65        |
| 04/02/99 | 13158    | 68        |
| 11/02/99 | 15230    | 70        |
| 17/02/99 | 17910    | 80        |
| 26/03/99 | 20000    | 75        |

**ANEXO 6: Evolución del volumen de agua de la represa y el área del lago desde siembra hasta finalizado el riego.**

|        | Volumen m <sup>3</sup> | Area m <sup>2</sup> |
|--------|------------------------|---------------------|
| 08-Nov | 2,000,000              | 958,640             |
| 30-Nov | 1,943,966              | 940,880             |
| 02-Dec | 1,915,949              | 932,000             |
| 07-Dec | 1,831,898              | 905,360             |
| 19-Dec | 1,663,697              | 852,080             |
| 24-Dec | 1,551,729              | 816,560             |
| 30-Dec | 1,477,017              | 792,880             |
| 04-Jan | 1,381,200              | 780,800             |
| 06-Jan | 1,333,740              | 747,960             |
| 12-Jan | 1,211,700              | 709,800             |
| 16-Jan | 1,062,540              | 663,160             |
| 21-Jan | 981,180                | 637,720             |
| 30-Jan | 865,920                | 601,680             |
| 19-Feb | 723,400                | 542,800             |
| 01-Mar | 561,560                | 443,520             |
| 04-Mar | 399720                 | 344,240             |



|        |         |       |      |      |       |      |      |      |       |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |      |      |      |       |      |      |
|--------|---------|-------|------|------|-------|------|------|------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|-------|------|------|
| 04-Feb | entrade | 107.2 | 88.6 | 83.4 | 109.0 | 89.2 | 15   | 91   | 108.7 | 130.7 | 88.4 | 128.1 | 32.5 | 50.8 | 31.5 | 70.8 | 29.5 | 32.5 | 50.7 | 15   | 130   | 134.8 | 35.5 | 75.3 | 43.5 | 115.8 | 14   |      |
|        | saldo   | 0     | 0    | 0.4  | 0.2   | 0.1  | 0.1  | 0.2  | 0.1   | 0.1   | 0.14 | 0     | 0.1  | 0.5  | 0.4  | 0.4  | 0.3  | 2.88 | 2.8  | 2.4  | 3     | 3.2   | 2.9  | 2.7  | 2.9  | 2.7   | 2.9  | 3.1  |
| 06-Feb | entrade | 107.3 | 88.7 | 87   | 109.7 | 89.4 | 12.9 | 91.8 | 108.9 | 130.8 | 88.4 | 128.4 | 29.9 | 50.2 | 30.7 | 70   | 29.9 | 31.8 | 52.5 | 14.5 | 134.4 | 133.8 | 34.7 | 74.1 | 42.4 | 115.8 | 13.4 |      |
|        | saldo   | 0.1   | 0.1  | 0    | 0.2   | 0.2  | 0.1  | 0.4  | 0.2   | 0.3   | 0.19 | 1.7   | 1.8  | 1.8  | 1.7  | 1.0  | 1.8  | 1.81 | 1.9  | 1.8  | 2     | 1.7   | 1.7  | 1.3  | 1.4  | 1.9   | 1.8  | 1.88 |
| 09-Feb | entrade | 107.2 | 88.9 | 87   | 109.3 | 89.2 | 12.9 | 91.6 | 108.8 | 130.8 | 88.3 | 128.9 | 29   | 50   | 30.7 | 89.0 | 29.5 | 29.5 | 50   | 7.8  | 132.7 | 129.8 | 27.3 | 77   | 49.2 | 107.2 | 7.9  |      |
|        | saldo   | 0     | 0    | 0    | 0     | 0    | 0.1  | 0.2  | 0     | 0.2   | 0.88 | 1.7   | -0.4 | 1.4  | 1.8  | 1.7  | 1.8  | 1.7  | 2.2  | 2.1  | 2.4   | 2.8   | 2.5  | 2.3  | 2.4  | 2.4   | 2.3  | 2.34 |
| 11-Feb | entrade | 107.4 | 88.8 | 87   | 109.7 | 89.5 | 13.2 | 91.6 | 109   | 131.1 | 87.4 | 128.8 | 29.8 | 49.2 | 29.7 | 89.0 | 28.4 | 27.5 | 49.1 | 8.7  | 132   | 129   | 28.4 | 78.3 | 49.3 | 108.4 | 7    |      |
|        | saldo   | 0.2   | 0.2  | 0    | 0.2   | 0.3  | 0.3  | 0    | 0.4   | 0     | 0.18 | 1.4   | 1.5  | 1.8  | 1.7  | 1.5  | 1.4  | 0.88 | 1.8  | 1.8  | 1.8   | 1.7   | 1.8  | 1.7  | 1.8  | 1.7   | 1.8  | 1.84 |
| 14-Feb | entrade | 107.4 | 88.9 | 87.8 | 109.8 | 89.6 | 13.3 | 92.8 | 109   | 131.1 | 88.4 | 128.9 | 27.7 | 50   | 29.5 | 87.5 | 27.3 | 24.8 | 48.8 | 8.3  | 130.3 | 129.4 | 28.5 | 73.9 | 49.5 | 104.3 | 4.5  |      |
|        | saldo   | 0     | 0.1  | 0.8  | 0.1   | 0.3  | 0.1  | 1.2  | 0     | 0     | 0.27 | 1.4   | 1.4  | 1.2  | 2    | 1.7  | 1.9  | 1.54 | 1.7  | 1.5  | 1.8   | 1.5   | 1.6  | 1.7  | 1.8  | 1.5   | 1.5  | 1.6  |
| 17-Feb | entrade | 107.4 | 88.9 | 87.8 | 109.8 | 89.6 | 13.3 | 92.8 | 109   | 131.1 | 88   | 128.7 | 29   | 48   | 27.8 | 88.2 | 28.8 | 28.8 | 47.8 | 7    | 131.8 | 128   | 28.5 | 74.9 | 49.5 | 104.6 | 4.2  |      |
|        | saldo   | 0     | 0    | 0.2  | 0     | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0     | 0     | 0.88 | 1.8   | 1.7  | 2.2  | 1.7  | 1.8  | 1.7  | 1.8  | 0.77 | 1.7  | 1.8   | 1.8   | 1.8  | 1.8  | 1.7  | 1.8   | 1.8  | 1.84 |
| 19-Feb | entrade | 107.4 | 88.9 | 87.8 | 109.8 | 89.6 | 13.4 | 92.9 | 109   | 131.1 | 88.7 | 128.8 | 27.8 | 48.4 | 28.8 | 87.4 | 27.5 | 27.3 | 48.3 | 8.3  | 133.4 | 128.4 | 30   | 78.2 | 47   | 108.1 | 5.8  |      |
|        | saldo   | 0     | 0    | 0    | 0.1   | 0.1  | 0.1  | 0    | 0     | 0     | 0.84 | 1.7   | 1.4  | 1.8  | 1.4  | 1    | 1.2  | 1.38 | 1.4  | 1.4  | 1.3   | 1.5   | 1.4  | 1.5  | 1.5  | 1.5   | 1.6  | 1.44 |
| 23-Feb | entrade | 107.4 | 89   | 87.9 | 110   | 70   | 13.5 | 94   | 109   | 131.1 | 89.3 | 129   | 28.8 | 51.9 | 31   | 89.8 | 29.8 | 29.8 | 49.2 | 10.2 | 138.7 | 132   | 31.8 | 78.1 | 48.7 | 108   | 8    |      |
|        | saldo   | 0     | 0.1  | 0.1  | 0.1   | 0.1  | 1.1  | 0    | 0     | 0     | 0.18 | 2.8   | 2.4  | 2    | 2.4  | 2.2  | 2.4  | 2.21 | 2.3  | 10.8 | 1.9   | 2.3   | 2.8  | 1.8  | 2.1  | 1.7   | 2.2  | 2.87 |
| 24-Feb | entrade | 107.8 | 89   | 88.1 | 110   | 70.2 | 12.2 | 94.4 | 109.1 | 131.1 | 70   | 131.8 | 32.4 | 52.9 | 32   | 71   | 32   | 28.8 | 52   | 11.3 | 134.8 | 132.8 | 32.4 | 74.9 | 48.8 | 108.8 | 8    |      |
|        | saldo   | 107.8 | 89   | 88.1 | 110   | 70.2 | 12.2 | 94.4 | 109.1 | 131.1 | 70   | 131.8 | 32.4 | 52.9 | 32   | 71   | 32   | 28.8 | 52   | 11.3 | 134.8 | 132.8 | 32.4 | 74.9 | 48.8 | 108.8 | 8    |      |
| 01-Mar | entrade | 107.8 | 89   | 88.1 | 110   | 70.2 | 12.2 | 94.4 | 109.1 | 131.1 | 72.5 | 134.8 | 34.4 | 58.6 | 34.5 | 75.8 | 33.5 | 32.2 | 54.5 | 15.3 | 138.8 | 137   | 35   | 77.4 | 52.4 | 112.1 | 10   |      |
|        | saldo   | 0     | 0    | 0.3  | -0.1  | 0    | 0.3  | 0.8  | 0     | 0.8   | 0.37 | 2.5   | 2.8  | 4    | 2.7  | 2.5  | 2.8  | 3.3  | 3.83 | 2.4  | 2.5   | 4     | 3.8  | 4.2  | 2.8  | 2.5   | 2.8  | 3.2  |
| 04-Mar | entrade | 107.8 | 89   | 88.1 | 110   | 70.2 | 12.2 | 94.4 | 109.1 | 131.1 | 71.9 | 134.8 | 34   | 55.1 | 34.8 | 74.5 | 33   | 33.8 | 54.5 | 16.8 | 136.7 | 135.7 | 34.8 | 78.4 | 53.8 | 113.5 | 11.8 |      |
|        | saldo   | 0     | 0    | 0.4  | 0     | 0.1  | 0.8  | 0.8  | 0     | 0.5   | 0.38 | 1.8   | 1.6  | 1.5  | 1.1  | 1.4  | 1.5  | 1.88 | 1.8  | 1.8  | 1.5   | 1.7   | 1.7  | 1.8  | 1.4  | 1.5   | 1.4  | 1.8  |

## ANEXO 8

### BALANCE DE LA REPRESA

#### EVAPORACION DEL LAGO

|                       | NOV     | DIC     | ENE      | FEB     |
|-----------------------|---------|---------|----------|---------|
| Tanque "A" (mm)       | 250.7   | 249.1   | 260.6    | 201.1   |
| Precipitaciones (mm)  | 97.0    | 81.0    | 49.0     | 37.0    |
| Evaporación lago (mm) | 78.5    | 93.4    | 133.4    | 103.8   |
| Area del lago (has)   | 95.8    | 93.2    | 79.2     | 60.1    |
| Evaporación lago (m3) | 75193.4 | 87020.8 | 105668.6 | 62365.8 |

#### APORTE POR ESCURRIMIENTO

|       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| Q     | 29.4  | 13.7  | 4.2   | 2.5   |
| P     | 97.0  | 81.0  | 49.0  | 37.0  |
| Po    | 2.6   | 5.8   | 6.6   | 6.6   |
| alfa  | 211.7 | 343.9 | 390.2 | 348.6 |
| H i-1 | 100.0 | 21.0  | 0.0   | 0.0   |
| Coef  | 1.3   | 1.7   | 2.0   | 1.6   |
| ETP   | 146.7 | 199.8 | 225.2 | 183.6 |
| HMAX  | 165.0 | 165.0 | 165.0 | 165.0 |
| H i   | 21.0  | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| ETR   | 146.7 | 88.3  | 44.8  | 34.5  |

|          |       |          |          |          |
|----------|-------|----------|----------|----------|
| RIEGO m3 | 54800 | 480219.8 | 500312.5 | 336664.3 |
|----------|-------|----------|----------|----------|

|         |         |         |         |        |        |
|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| BALANCE | 2000000 | 1568342 | 1004137 | 629672 | 7612.9 |
|---------|---------|---------|---------|--------|--------|

$$7612.9 = 20000000 - 629672$$

**ANEXO 9:** Lectura de los valores del aforador de entrada a la chacra y su correspondiente volumen en m<sup>3</sup>/ha.

| FECHA  | Lectura aforador | Vol. m <sup>3</sup> /ha | FENOLOGIA    |
|--------|------------------|-------------------------|--------------|
| 28-Nov | 3352             | 250.6                   | INICIO RIEGO |
| 30-Nov | 7426             | 555.2                   |              |
| 02-Dec | 11056            | 826.6                   |              |
| 04-Dec | 11056            | 826.6                   |              |
| 05-Dec | 11056            | 826.6                   |              |
| 07-Dec | 11056            | 826.6                   |              |
| 09-Dec | 13189            | 986.1                   |              |
| 12-Dec | 18412            | 1376.6                  |              |
| 15-Dec | 20719            | 1549.1                  |              |
| 17-Dec | 22125            | 1654.2                  |              |
| 19-Dec | 25144            | 1879.9                  |              |
| 22-Dec | 27650            | 2067.3                  |              |
| 24-Dec | 31396            | 2347.4                  |              |
| 26-Dec | 33714            | 2520.7                  |              |
| 28-Dec | 33714            | 2520.7                  |              |
| 30-Dec | 33892            | 2534.0                  |              |
| 31-Dec | 35683            | 2667.9                  |              |
| 02-Jan | 37310            | 2789.5                  |              |
| 04-Jan | 40911            | 3058.8                  |              |
| 06-Jan | 44971            | 3362.3                  |              |
| 08-Jan | 47704            | 3566.7                  | 70% PRIM     |
| 10-Jan | 47704            | 3566.7                  |              |
| 12-Jan | 48572            | 3631.6                  |              |
| 14-Jan | 52213            | 3903.8                  |              |
| 16-Jan | 55890            | 4178.7                  |              |
| 19-Jan | 60625            | 4532.7                  |              |
| 23-Jan | 64996            | 4859.5                  |              |
| 25-Jan | 67780            | 5067.7                  |              |
| 27-Jan | 67839            | 5072.1                  |              |
| 30-Jan | 68818            | 5145.3                  |              |
| 02-Feb | 72859            | 5447.4                  |              |
| 04-Feb | 74243            | 5550.9                  |              |
| 06-Feb | 75623            | 5654.1                  | 50% FLOR     |
| 09-Feb | 77693            | 5808.8                  | 70% FLOR     |
| 11-Feb | 78405            | 5862.1                  | 90% FLOR     |
| 14-Feb | 82708            | 6183.8                  |              |
| 17-Feb | 85577            | 6398.3                  |              |
| 19-Feb | 86579            | 6473.2                  |              |
| 22-Feb | 89246            | 6672.6                  |              |
| 24-Feb | 92661            | 6927.9                  |              |
| 01-Mar | 95390            | 7132.0                  |              |
| 04-Mar | 97875            | 7317.8                  | FIN RIEGO    |

**ANEXO 10: Evapotranspiración diaria y acumulada.**

| FECHA  | ET Acum | ET DIARIA |
|--------|---------|-----------|
| 28-Nov | 4.6     | 4.6       |
| 29-Nov | 9.2     | 4.6       |
| 30-Nov | 13.7    | 4.6       |
| 01-Dec | 21.0    | 7.2       |
| 02-Dec | 28.2    | 7.2       |
| 03-Dec | 33.5    | 5.3       |
| 04-Dec | 38.9    | 5.3       |
| 05-Dec | 46.3    | 7.4       |
| 06-Dec | 52.0    | 5.7       |
| 07-Dec | 57.7    | 5.7       |
| 08-Dec | 64.9    | 7.1       |
| 09-Dec | 72.0    | 7.1       |
| 10-Dec | 76.4    | 4.4       |
| 11-Dec | 80.7    | 4.4       |
| 12-Dec | 85.1    | 4.4       |
| 13-Dec | 88.3    | 3.2       |
| 14-Dec | 91.5    | 3.2       |
| 15-Dec | 94.7    | 3.2       |
| 16-Dec | 98.8    | 4.1       |
| 17-Dec | 102.9   | 4.1       |
| 18-Dec | 111.0   | 8.1       |
| 19-Dec | 119.1   | 8.1       |
| 20-Dec | 124.7   | 5.6       |
| 21-Dec | 130.2   | 5.6       |
| 22-Dec | 135.8   | 5.6       |
| 23-Dec | 144.3   | 8.5       |
| 24-Dec | 152.8   | 8.5       |
| 25-Dec | 161.6   | 8.8       |
| 26-Dec | 170.5   | 8.8       |
| 27-Dec | 179.0   | 8.5       |
| 28-Dec | 187.5   | 8.5       |
| 29-Dec | 194.5   | 7.0       |
| 30-Dec | 201.5   | 7.0       |
| 31-Dec | 209.1   | 7.6       |
| 01-Jan | 215.1   | 6.1       |
| 02-Jan | 221.2   | 6.1       |
| 03-Jan | 230.7   | 9.5       |
| 04-Jan | 240.3   | 9.5       |
| 05-Jan | 249.9   | 9.7       |
| 06-Jan | 259.6   | 9.7       |
| 07-Jan | 269.8   | 10.1      |
| 08-Jan | 279.9   | 10.1      |
| 09-Jan | 288.3   | 8.4       |
| 10-Jan | 296.7   | 8.4       |
| 11-Jan | 306.9   | 10.2      |

| FECHA  | ET Acum | ET DIARIA |
|--------|---------|-----------|
| 15-Jan | 348.0   | 9.9       |
| 16-Jan | 357.8   | 9.9       |
| 17-Jan | 366.2   | 8.4       |
| 18-Jan | 374.6   | 8.4       |
| 19-Jan | 383.0   | 8.4       |
| 20-Jan | 393.2   | 10.2      |
| 21-Jan | 403.4   | 10.2      |
| 22-Jan | 414.2   | 10.8      |
| 23-Jan | 425.0   | 10.8      |
| 24-Jan | 434.6   | 9.6       |
| 25-Jan | 444.2   | 9.6       |
| 26-Jan | 453.8   | 9.6       |
| 27-Jan | 463.4   | 9.6       |
| 28-Jan | 472.8   | 9.4       |
| 29-Jan | 482.2   | 9.4       |
| 30-Jan | 491.6   | 9.4       |
| 31-Jan | 497.6   | 6.0       |
| 01-Feb | 503.6   | 6.0       |
| 02-Feb | 509.6   | 6.0       |
| 03-Feb | 515.6   | 6.0       |
| 04-Feb | 521.6   | 6.0       |
| 05-Feb | 528.9   | 7.3       |
| 06-Feb | 536.1   | 7.3       |
| 07-Feb | 543.7   | 7.6       |
| 08-Feb | 551.4   | 7.6       |
| 09-Feb | 559.0   | 7.6       |
| 10-Feb | 566.3   | 7.3       |
| 11-Feb | 573.6   | 7.3       |
| 12-Feb | 578.0   | 4.4       |
| 13-Feb | 582.5   | 4.4       |
| 14-Feb | 586.9   | 4.4       |
| 15-Feb | 592.8   | 5.8       |
| 16-Feb | 598.6   | 5.8       |
| 17-Feb | 604.5   | 5.8       |
| 18-Feb | 611.4   | 7.0       |
| 19-Feb | 618.4   | 7.0       |
| 20-Feb | 627.7   | 9.3       |
| 21-Feb | 637.0   | 9.3       |
| 22-Feb | 646.3   | 9.3       |
| 23-Feb | 653.3   | 7.0       |
| 24-Feb | 660.3   | 7.0       |
| 25-Feb | 664.8   | 4.5       |
| 26-Feb | 669.2   | 4.5       |
| 27-Feb | 673.7   | 4.5       |
| 28-Feb | 678.2   | 4.5       |

|        |       |      |
|--------|-------|------|
| 12-Jan | 317.1 | 10.2 |
| 13-Jan | 327.6 | 10.5 |
| 14-Jan | 338.1 | 10.5 |

|        |       |     |
|--------|-------|-----|
| 01-Mar | 682.7 | 4.5 |
| 02-Mar | 686.6 | 3.9 |
| 03-Mar | 690.4 | 3.9 |
| 04-Mar | 698.3 | 3.9 |

### ANEXO 11: Transpiración acumulada y diaria.

| FECHA  | TRANS Acum | TRANS Diaria |
|--------|------------|--------------|
| 28-Nov | 2.9        | 2.9          |
| 29-Nov | 5.8        | 2.9          |
| 30-Nov | 8.7        | 2.9          |
| 01-Dec | 12.6       | 4.0          |
| 02-Dec | 16.6       | 4.0          |
| 03-Dec | 20.4       | 3.8          |
| 04-Dec | 24.2       | 3.8          |
| 05-Dec | 29.1       | 4.9          |
| 06-Dec | 33.7       | 4.6          |
| 07-Dec | 38.3       | 4.6          |
| 08-Dec | 43.1       | 4.8          |
| 09-Dec | 47.8       | 4.8          |
| 10-Dec | 50.6       | 2.8          |
| 11-Dec | 53.4       | 2.8          |
| 12-Dec | 56.2       | 2.8          |
| 13-Dec | 59.3       | 3.1          |
| 14-Dec | 62.4       | 3.1          |
| 15-Dec | 65.4       | 3.1          |
| 16-Dec | 69.5       | 4.1          |
| 17-Dec | 73.5       | 4.1          |
| 18-Dec | 79.6       | 6.1          |
| 19-Dec | 85.7       | 6.1          |
| 20-Dec | 89.7       | 4.0          |
| 21-Dec | 93.8       | 4.0          |
| 22-Dec | 97.8       | 4.0          |
| 23-Dec | 103.7      | 5.9          |
| 24-Dec | 109.6      | 5.9          |
| 25-Dec | 116.4      | 6.8          |
| 26-Dec | 123.2      | 6.8          |
| 27-Dec | 129.5      | 6.3          |
| 28-Dec | 135.7      | 6.3          |
| 29-Dec | 142.2      | 6.5          |
| 30-Dec | 148.7      | 6.5          |
| 31-Dec | 155.8      | 7.2          |
| 01-Jan | 160.3      | 4.5          |
| 02-Jan | 164.7      | 4.5          |
| 03-Jan | 172.2      | 7.5          |
| 04-Jan | 179.7      | 7.5          |

| FECHA  | TRANS Acum | TRANS Diaria |
|--------|------------|--------------|
| 15-Jan | 262.1      | 8.0          |
| 16-Jan | 270.1      | 8.0          |
| 17-Jan | 274.2      | 4.1          |
| 18-Jan | 278.3      | 4.1          |
| 19-Jan | 282.4      | 4.1          |
| 20-Jan | 290.1      | 7.7          |
| 21-Jan | 297.8      | 7.7          |
| 22-Jan | 302.5      | 4.7          |
| 23-Jan | 307.2      | 4.7          |
| 24-Jan | 313.9      | 6.7          |
| 25-Jan | 320.5      | 6.7          |
| 26-Jan | 324.9      | 4.4          |
| 27-Jan | 329.4      | 4.4          |
| 28-Jan | 334.7      | 5.3          |
| 29-Jan | 340.1      | 5.3          |
| 30-Jan | 345.4      | 5.3          |
| 31-Jan | 350.7      | 5.3          |
| 01-Feb | 356.0      | 5.3          |
| 02-Feb | 361.3      | 5.3          |
| 03-Feb | 366.6      | 5.3          |
| 04-Feb | 372.0      | 5.3          |
| 05-Feb | 379.1      | 7.2          |
| 06-Feb | 386.3      | 7.2          |
| 07-Feb | 392.8      | 6.5          |
| 08-Feb | 399.3      | 6.5          |
| 09-Feb | 405.7      | 6.5          |
| 10-Feb | 412.5      | 6.8          |
| 11-Feb | 419.3      | 6.8          |
| 12-Feb | 423.5      | 4.2          |
| 13-Feb | 427.7      | 4.2          |
| 14-Feb | 431.8      | 4.2          |
| 15-Feb | 437.5      | 5.7          |
| 16-Feb | 443.2      | 5.7          |
| 17-Feb | 448.9      | 5.7          |
| 18-Feb | 455.7      | 6.7          |
| 19-Feb | 462.4      | 6.7          |
| 20-Feb | 469.2      | 6.8          |
| 21-Feb | 475.9      | 6.8          |

|        |       |     |
|--------|-------|-----|
| 05-Jan | 186.3 | 6.6 |
| 06-Jan | 193.0 | 6.6 |
| 07-Jan | 201.4 | 8.4 |
| 08-Jan | 209.9 | 8.4 |
| 09-Jan | 216.4 | 6.6 |
| 10-Jan | 223.0 | 6.6 |
| 11-Jan | 230.7 | 7.7 |
| 12-Jan | 238.5 | 7.7 |
| 13-Jan | 246.2 | 7.8 |
| 14-Jan | 254.0 | 7.8 |

|        |       |     |
|--------|-------|-----|
| 22-Feb | 482.7 | 6.8 |
| 23-Feb | 486.7 | 4.0 |
| 24-Feb | 490.7 | 4.0 |
| 25-Feb | 495.0 | 4.4 |
| 26-Feb | 499.4 | 4.4 |
| 27-Feb | 503.8 | 4.4 |
| 28-Feb | 508.1 | 4.4 |
| 01-Mar | 512.5 | 4.4 |
| 02-Mar | 516.2 | 3.7 |
| 03-Mar | 519.9 | 3.7 |
| 04-Mar | 523.6 | 3.7 |

## ANEXO 12: Evaporación acumulada y diaria.

| FECHA  | EVAPORACION | EVAPORACION |
|--------|-------------|-------------|
| 28-Nov | 4.6         | 1.69        |
| 29-Nov | 6.3         | 1.69        |
| 30-Nov | 8.0         | 1.69        |
| 01-Dec | 11.3        | 3.27        |
| 02-Dec | 14.5        | 3.27        |
| 03-Dec | 16.0        | 1.51        |
| 04-Dec | 17.6        | 1.51        |
| 05-Dec | 20.1        | 2.53        |
| 06-Dec | 21.2        | 1.13        |
| 07-Dec | 22.3        | 1.13        |
| 08-Dec | 24.7        | 2.38        |
| 09-Dec | 27.1        | 2.38        |
| 10-Dec | 28.6        | 1.55        |
| 11-Dec | 30.2        | 1.55        |
| 12-Dec | 31.7        | 1.55        |
| 13-Dec | 31.9        | 0.16        |
| 14-Dec | 32.1        | 0.16        |
| 15-Dec | 32.2        | 0.16        |
| 16-Dec | 32.2        | 0.04        |
| 17-Dec | 32.3        | 0.04        |
| 18-Dec | 34.3        | 2.00        |
| 19-Dec | 36.3        | 2.00        |
| 20-Dec | 37.8        | 1.55        |
| 21-Dec | 39.4        | 1.55        |
| 22-Dec | 40.9        | 1.55        |
| 23-Dec | 43.5        | 2.60        |
| 24-Dec | 48.1        | 2.60        |

| FECHA  | EVAPORACION | EVAPORACION |
|--------|-------------|-------------|
| 15-Jan | 88.8        | 1.84        |
| 16-Jan | 90.6        | 1.84        |
| 17-Jan | 92.9        | 2.28        |
| 18-Jan | 95.2        | 2.28        |
| 19-Jan | 97.5        | 2.28        |
| 20-Jan | 100.0       | 2.50        |
| 21-Jan | 102.5       | 2.50        |
| 22-Jan | 104.9       | 2.40        |
| 23-Jan | 107.3       | 2.40        |
| 24-Jan | 109.8       | 2.50        |
| 25-Jan | 112.3       | 2.50        |
| 26-Jan | 114.3       | 2.00        |
| 27-Jan | 116.3       | 2.00        |
| 28-Jan | 117.9       | 1.60        |
| 29-Jan | 119.5       | 1.60        |
| 30-Jan | 120.5       | 1.00        |
| 31-Jan | 121.2       | 0.69        |
| 01-Feb | 121.8       | 0.69        |
| 02-Feb | 122.5       | 0.69        |
| 03-Feb | 123.2       | 0.69        |
| 04-Feb | 123.9       | 0.69        |
| 05-Feb | 124.0       | 0.09        |
| 06-Feb | 124.1       | 0.09        |
| 07-Feb | 125.2       | 1.13        |
| 08-Feb | 126.4       | 1.13        |
| 09-Feb | 127.5       | 1.13        |
| 10-Feb | 128.0       | 0.51        |

|        |      |      |
|--------|------|------|
| 25-Dec | 48.2 | 2.02 |
| 26-Dec | 50.2 | 2.02 |
| 27-Dec | 52.4 | 2.23 |
| 28-Dec | 54.6 | 2.23 |
| 29-Dec | 55.2 | 0.53 |
| 30-Dec | 55.7 | 0.53 |
| 31-Dec | 56.1 | 0.43 |
| 01-Jan | 57.8 | 1.64 |
| 02-Jan | 59.4 | 1.64 |
| 03-Jan | 61.4 | 2.02 |
| 04-Jan | 63.5 | 2.02 |
| 05-Jan | 66.5 | 3.05 |
| 06-Jan | 69.6 | 3.05 |
| 07-Jan | 71.3 | 1.70 |
| 08-Jan | 73.0 | 1.70 |
| 09-Jan | 74.8 | 1.81 |
| 10-Jan | 76.6 | 1.81 |
| 11-Jan | 79.0 | 2.46 |
| 12-Jan | 81.5 | 2.46 |
| 13-Jan | 84.2 | 2.72 |
| 14-Jan | 87.0 | 2.72 |

|        |       |      |
|--------|-------|------|
| 11-Feb | 128.5 | 0.51 |
| 12-Feb | 128.8 | 0.29 |
| 13-Feb | 129.1 | 0.29 |
| 14-Feb | 129.4 | 0.29 |
| 15-Feb | 129.5 | 0.13 |
| 16-Feb | 129.7 | 0.13 |
| 17-Feb | 129.8 | 0.13 |
| 18-Feb | 130.0 | 0.26 |
| 19-Feb | 130.3 | 0.26 |
| 20-Feb | 131.2 | 0.90 |
| 21-Feb | 132.1 | 0.90 |
| 22-Feb | 132.8 | 0.70 |
| 23-Feb | 133.5 | 0.70 |
| 24-Feb | 134.1 | 0.60 |
| 25-Feb | 134.2 | 0.12 |
| 26-Feb | 134.4 | 0.12 |
| 27-Feb | 134.5 | 0.12 |
| 28-Feb | 134.6 | 0.12 |
| 01-Mar | 134.7 | 0.12 |
| 02-Mar | 134.9 | 0.17 |
| 03-Mar | 135.1 | 0.17 |
| 04-Mar | 135.2 | 0.17 |

**ANEXO 13: Correlación entre materia seca y evapotranspiración.**

| MS Kg/ha | ET mm |
|----------|-------|
| 988      | 72    |
| 1575     | 95    |
| 2500     | 153   |
| 3198     | 204   |
| 4575     | 262   |
| 7658     | 341   |
| 9485     | 406   |
| 10250    | 466   |
| 13158    | 524   |
| 15230    | 578   |
| 17910    | 609   |

$$R^2 = 0.985$$

**ANEXO 14: Proporción de cada componente del gasto.**

|                    |                 |
|--------------------|-----------------|
| Transpiración      | 523 mm          |
| Evaporación        | 135.2 mm        |
| Percolación        | 34 mm           |
| Pérdidas laterales | 326.3 mm        |
| <b>TOTAL</b>       | <b>1027.5mm</b> |