

## Análisis crítico del método de riego por goteo en las condiciones del Uruguay

García Petillo, Mario<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Unidad de Hidrología, Departamento de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Avda. E. Garzón 780, 12900 Montevideo, Uruguay.  
Correo electrónico: mgarciap@fagro.edu.uy

Recibido: 17/7/09 Aceptado: 19/3/10

### Resumen

Con este trabajo se buscó aportar información objetiva sobre la eficiencia y el ahorro de agua del riego localizado para las condiciones de suelos y clima del Uruguay. En cuanto a la eficiencia, se monitoreó semanalmente el contenido de agua del suelo hasta 1 m de profundidad, en un árbol de citrus regado por goteo. Los resultados muestran que, a pesar de ser un verano extremadamente seco, existieron pérdidas de agua por percolación en profundidad. Aunque no se hizo una cuantificación de esas pérdidas, las mismas eran evidentes. En cuanto al ahorro de agua, se simuló con el modelo WinISAREG el balance hídrico de un cultivo de maíz, utilizando una serie climática de 33 años con datos diarios de precipitación y Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>), regado con riego localizado, (lámina neta, LN 6 mm) y con riego «tradicional» (LN 42 mm). Haciendo un análisis de frecuencia, se encontró que para cubrir las necesidades en el 50 % de los años, el método «tradicional» requirió 388 mm de riego en la temporada, mientras que el localizado requirió 545 mm (40 % más). Por cada milímetro de lluvia adicional en la temporada, la necesidad de riego «tradicional» se reduce en 0,44 mm, mientras que en el caso del riego localizado esta reducción es de sólo 0,33 mm. También se presentan datos primarios de compactación debido al riego por goteo, aumentando la densidad aparente de 1.19 a 1.30 g cm<sup>-3</sup>. Esta primera evidencia experimental de compactación debida al riego por goteo, deberá ser confirmada o desechada en futuros trabajos.

**Palabras clave:** compactación del suelo, modelo WinISAREG, pérdidas de agua por percolación, riego localizado, simulación de necesidades de riego

### Summary

## Critical analysis of the drip irrigation method under the conditions of Uruguay

This paper presents objective information on irrigation efficiency and water savings with drip irrigation under the soil and climate conditions of Uruguay. Regarding the efficiency, the soil water content was monitored weekly in a drip irrigated adult citrus tree. Results show that, despite being an extremely dry summer, water leakage by deep percolation was observed. Although the leakage was not quantified it was evident. With regards to water savings, a hydric balance of a maize crop was simulated with the WinISAREG model, using a 33-year climatic series with daily precipitation and ET<sub>o</sub> data, watered with drip irrigation (Readily Available Water, RAW 6 mm) and with «traditional» irrigation (RAW 42 mm). Running a frequency analysis to meet the needs for 50 % of the years, the «traditional» method required 388 mm of irrigation in the season, while the drip irrigation method required 545 mm (40 % more). Per each millimeter of additional rain in the season, the need for «traditional» irrigation was reduced by 0,44 mm, whereas in the case of drip irrigation this reduction was only 0.33 mm. Preliminary data of compaction due to drip irrigation is also presented, increasing the apparent density from 1,19 to 1,30 g cm<sup>-3</sup>. This first experimental evidence of compaction due to drip irrigation should be confirmed or rejected in future studies.

**Key words:** soil compaction, WinISAREG model, deep percolation water losses, microirrigation, irrigation requirements simulation

## Introducción

Es una afirmación muy difundida que el riego por goteo es más eficiente que otros métodos por tener una casi nula evaporación directa y porque no debería ocasionar escurrimiento superficial ni percolación en profundidad. Por lo tanto, se considera que ahorra agua en comparación con otros métodos.

En efecto, Evans *et al.* (2007) sostienen que sistemas de riego bien diseñados, instalados y operados pueden alcanzar alta uniformidad y eficiencia de aplicación del agua. Vermeiren y Jobling (1986) establecen que cabría esperar que un sistema de riego localizado use quizás un 20 o un 30 % menos agua que un sistema de riego por aspersión o gravedad bien manejado. Estos autores también advierten que, sin embargo, ahorros de sólo el 5 % se han registrado cuando el riego localizado no se maneja correctamente. Moya Talens (1994) estima que la eficiencia del riego por goteo en Mallorca es del 90 %, y que el ahorro de agua logrado con este método es del 30 %. Rodrigo López *et al.* (1992) sostienen que aún bajo condiciones eficientes de manejo, en suelos arenosos y limosos se producen pérdidas por percolación, pero que éstas son insignificantes en suelos francos y arcillosos.

A pesar de lo anterior, uno de los trabajos más ambiciosos de evaluación a campo de sistemas de microirrigación (Hanson *et al.*, 1995), realizado en California, llega a resultados bastante diferentes. Estos autores concluyen que la uniformidad de distribución de sistemas de riego localizado fue similar a las de otros sistemas. Y añaden que esto es contrario a la creencia común que los sistemas localizados tienen uniformidades muy superiores a otros sistemas de riego.

Las virtudes del riego localizado, reales o supuestas, están en la base conceptual que sustenta muchas políticas de «modernización» de los regadíos que se vienen ejecutando tanto en Europa como en América, que consisten básicamente en sustituir los riegos tradicionales por superficie por riegos localizados. Este tema ha ocupado también muchas de las discusiones de la Red Iberoamericana de Riegos, ya desde su primera reunión en junio de 2005.

La afirmación de mayor eficiencia y mayor ahorro de agua no siempre tiene la suficiente base experimental para situaciones distintas a aquellas en las que el riego localizado se desarrolló (climas áridos y semiáridos, suelos livianos y homogéneos).

Otro aspecto que generalmente no se tiene en cuenta es la eventual compactación del suelo bajo los goteros, fenómeno que no se reporta en suelos livianos, pero del

que hemos encontrado evidencias en los suelos de Uruguay con altos contenidos de arcilla y limo y que se reportan en esta comunicación.

En este trabajo se busca aportar información experimental y cuantitativa sobre eficiencia de aplicación, uso de agua de riego y compactación del suelo, bajo riego por goteo, para los suelos y el clima del Uruguay.

## Materiales y métodos

### 1. Eficiencia de aplicación

El experimento se realizó desde agosto de 1999 hasta marzo de 2000, en una parcela de la Quinta N° 7 de la empresa Milagro S.A., situada en la localidad de Kiyú, departamento de San José, República Oriental del Uruguay, a unos 60 km al oeste de la ciudad de Montevideo. El ensayo se instaló en un cuadro de 15 filas de 32 árboles cada una, plantado en el invierno de 1981 con naranjos cv «Valencia» (*Citrus sinensis* (L) Osb.) injertados sobre pie de trifolia (*Poncirus trifoliata* (L) Osb.), al marco de 6 x 4 m, resultando en una densidad de 417 árboles ha<sup>-1</sup>.

Se hizo una descripción del perfil en una calicata realizada dentro de la parcela, se sacaron muestras imperturbadas para estudiar las propiedades hídricas y muestras de cada horizonte para el análisis textural. El suelo es un Brunosol Subéutrico Lúvico según la clasificación uruguaya, equivalente a un Argiudol Típico (Soil Taxonomy) (Durán *et al.*, 2005), perteneciente a la Unidad Kiyú. La descripción y análisis mecánico se presentan en el cuadro 1.

Las muestras imperturbadas, tres repeticiones por horizonte, fueron saturadas y llevadas a ollas de presión marca Soil Moisture equipment Co., según la metodología de Richards (1947) y sometidas a presiones de 0,01; 0,03; 0,10; 0,20; 0,30; 0,50; 1,00 y 1,50 MPa. Las mismas muestras fueron utilizadas para determinar la densidad aparente. Los contenidos de humedad volumétricos a las tensiones indicadas, se presentan en el cuadro 2.

El contenido total de humedad calculado para todo el perfil hasta 60 cm es 253 mm a Capacidad de Campo (0,01 MPa) y 159 mm a Punto de Marchitez Permanente, por lo que el Agua Disponible total es de 94 mm.

Los datos climáticos se obtuvieron de una estación meteorológica automática ubicada en el propio predio.

El equipo de riego tenía goteros autocompensantes con un caudal nominal de 4 l h<sup>-1</sup> separados a 1 m entre sí, y situados en una única línea como es habitual en Uruguay, totalizando cuatro emisores por árbol. El rie-

**Cuadro 1.** Análisis mecánico de los diferentes horizontes del suelo del ensayo

Horizonte	Profundidad (cm)	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Clase textural
A	00 - 25	29,5	54,1	16,4	Franco Arcillo Limoso
Bt1	25 - 40	49,1	41,2	9,7	Arcillo Limoso
Bt2	40 - 60	47,2	42,5	10,3	Arcillo Limoso
BC	60 - 70	46,4	43,0	10,6	Arcillo Limoso
Ck	70 - +	45,6	44,0	10,4	Arcillo Limoso

**Cuadro 2 .** Contenido de humedad volumétrico ( $\theta_v$ ) a diferentes tensiones (MPa) y densidad aparente (D<sub>Ap</sub>), de los horizontes del suelo del ensayo.

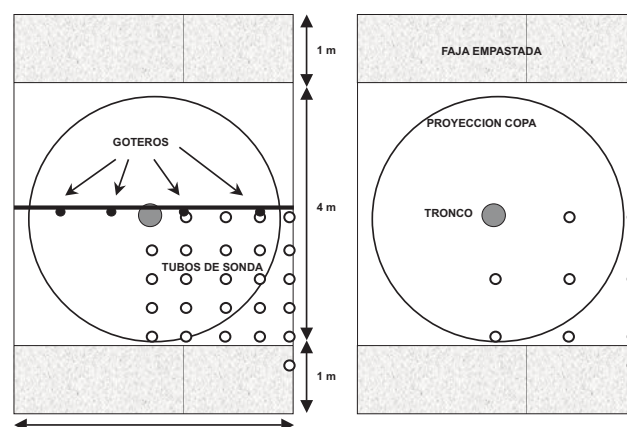
	0,01	0,03	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0	1,5	D <sub>Ap</sub>
A	38,17	35,42	31,71	26,71	23,39	19,66	18,74	17,25	1,47
Bt1	44,16	43,01	41,33	37,84	35,62	34,87	34,56	32,99	1,53
Bt2	45,88	43,18	41,39	38,03	35,77	35,75	35,39	33,32	1,59
BC	42,18	41,11	39,29	36,43	34,26	36,12	35,84	34,33	1,51
Ck	42,80	41,04	38,53	35,11	33,20	37,37	39,14	33,68	1,54

go se realizaba diariamente durante un tiempo que era determinado por el técnico encargado del mismo en el predio, y estimado basándose en dos criterios: una primera aproximación utilizando los datos de evaporación del tanque «A» y corrigiéndolo por los coeficientes de tanque (K<sub>p</sub>) y de cultivo (K<sub>c</sub>) siguiendo la metodología de Allen *et al.* (1998), y un ajuste basándose en perforaciones con taladro realizadas semanalmente, para verificar el ancho y la profundidad de la banda mojada (si disminuía la banda, aumentaba las horas de riego, y viceversa).

En el inicio del ensayo se instalaron cinco tratamientos de riego, cuya descripción detallada se encuentra en García y Castel (2004).

Para el presente trabajo, se seleccionó un árbol de una parcela de secano (T1) que nunca recibió riego y otro árbol de una parcela regada diariamente con una dosis igual al 100 % de la Evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>) calculada (T3).

Para estimar la variación del contenido de humedad del suelo se instalaron dos cuadrículas de tubos de acceso de sonda de neutrones de 1.20 m de longitud, cada una de ellas en un cuadrante de los dos árboles seleccionados. En el primer caso se instalaron nueve tubos, separados 1 m entre sí. En el árbol del T3 se instalaron 25 tubos, separados a 0,50 m. Ambas instalaciones se esquematizan en la figura 1. Durante los períodos en que no se regaba, en el árbol del T3 se midieron sólo



**Figura 1.** Croquis de ubicación de los tubos de acceso de la sonda de neutrones en el árbol regado y en el de secano. La proyección de la copa indica aproximadamente el tamaño promedio a lo largo de todo el ensayo.

los nueve tubos ubicados en la misma posición que los del T1.

Como los tubos están ubicados en una cuadrícula equidistante, se supone que cada tubo es representativo de 1/9 de la superficie del cuadrante en el caso del T1, y de 1/25 de la superficie del cuadrante en el T3, menos los que están sobre los ejes que son representativos de la mitad de esa superficie. A los efectos de integrar el total de agua, se supuso que la medida de cada tubo se

repetía en aquellas posiciones simétricas con respecto al eje longitudinal y transversal de la fila, cubriendo así los cuatro cuadrantes.

En estas cuadrículas se hizo un seguimiento de la humedad volumétrica del suelo mediante una sonda de neutrones marca CPN, modelo 503DR HYDROPROBE, con fuente de neutrones de 1.85 GBq (50 mCi) americio-24: berilio y cabezal de 2". En ambos casos se realizaron lecturas semanales, a 0,15; 0,30; 0,50; 0,70 y 1,00 m de profundidad.

## 2. Ahorro de agua

Se simuló con el modelo WinISAREG las necesidades netas de riego de un cultivo de maíz en la zona sur del Uruguay, regado por goteo o por riego tradicional. Se utilizó una serie climática de 33 años (1975-2007) con datos diarios de precipitación y ETo de la Estación Experimental INIA Las Brujas. El suelo utilizado para la simulación es un Brunosol Éutrico Típico que tiene 84 mm de agua disponible en el perfil hasta los 50 cm de profundidad. El cultivo de maíz se sembró cada año el 1° de octubre, la duración de las fases fue de 30/55/50/35 días y los Kc inicial, medio y final fueron 0,67; 1,20 y 0,35 respectivamente.

Para simular el balance hídrico de un cultivo de maíz con riego «tradicional», se fijó una fracción máxima del agua extraíble (p) de 0,50 lo que determina una lámina neta (LN) de riego de 42 mm. Para simular el maíz con riego localizado se fijó un p de 0,07, por lo que la LN fue de 6 mm. En ambos casos se fijó como objetivo del riego lograr el máximo rendimiento del cultivo.

## 3. Compactación del suelo

Se realizó un experimento sobre un monte de duraznero implantado en el año 2004 en el sur de Uruguay, con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos consisten en un testigo en Secano (T1) y la aplicación de la misma dosis de riego, utilizando emisores de diferente caudal, a diferentes espaciamientos: goteros de 1,6 l h<sup>-1</sup> a 0,4 m (T2), goteros de 4,0 l h<sup>-1</sup> a 1 m (T3) y goteros de 2,0 l h<sup>-1</sup> a 1 m, 2 líneas por fila (T5). Los detalles completos están en Morales *et al.* (2007).

Ante la evidencia visual de indicios de compactación, el 1° de julio de 2008 se extrajeron muestras imperturbadas de suelo a 5 cm de profundidad, en todas las parcelas regadas por goteo, en dos posiciones: bajo el emisor y en el punto medio entre dos emisores. En las parcelas de secano, también se sacaron dos muestras de suelo, en el centro de la fila. Con esas muestras se estimó la densidad aparente.

Los tratamientos se comenzaron a aplicar en 2004 y el muestreo de suelo se hizo en 2008, por lo que los tratamientos regados lo habían sido durante cuatro temporadas, aplicándose la dosis necesaria para cubrir el 100 % de la ETc. Desde la implantación hasta el muestreo, el riego aplicado en las cuatro temporadas fue: 2004/05 170 mm; 2005/06 391 mm; 2006/07 233 mm y 2007/08 372 mm, totalizando 1166 mm. En el cuadro 3 se presentan los volúmenes por emisor correspondientes a los mm antes mencionados.

Con los resultados de densidad aparente obtenidos se hicieron dos análisis de varianza, uno con las muestras obtenidas bajo los goteros, y otro con las muestras obtenidas entre los goteros. En el caso de la parcela en secano, se tomó como valor el promedio de las dos muestras extraídas.

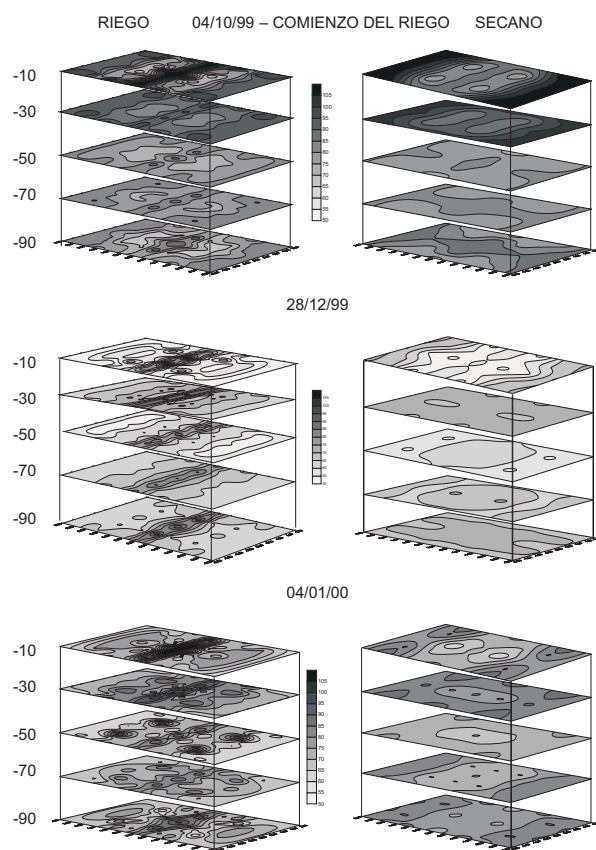
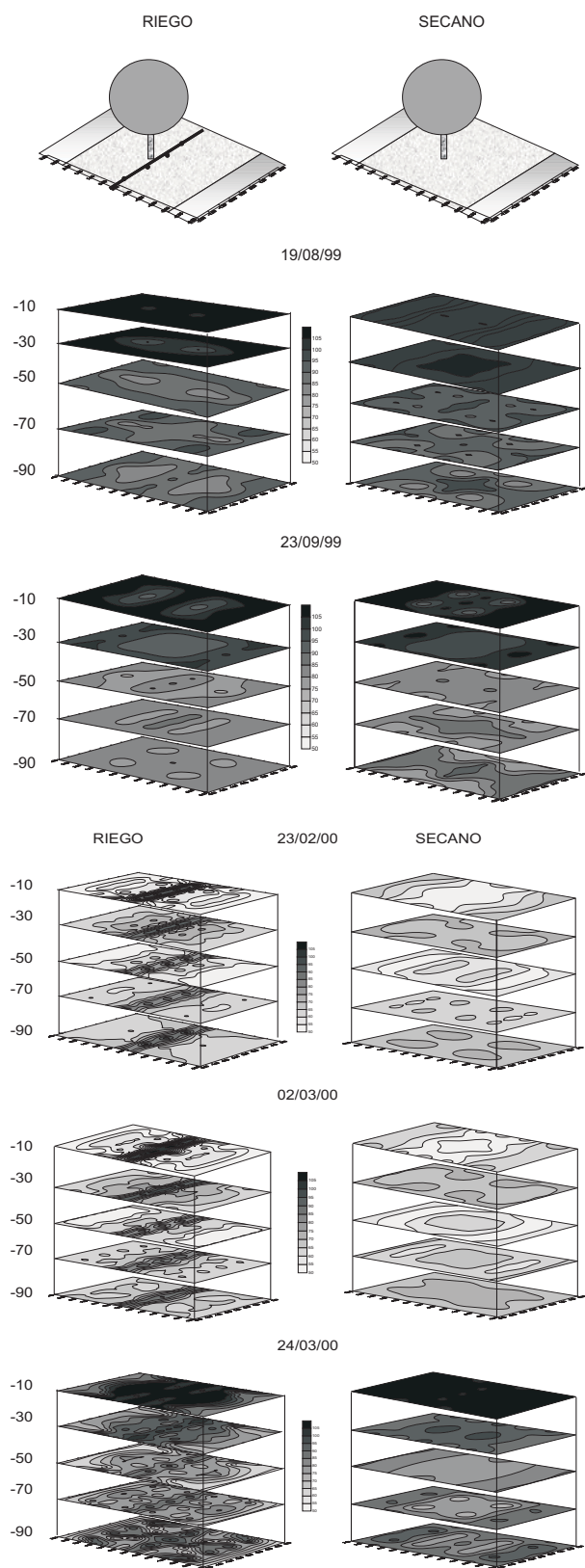
## Resultados y discusión

### 1. Eficiencia de aplicación

Los patrones espaciales de extracción de agua de árboles cítricos adultos, y los patrones de humedecimiento del suelo por riego localizado, a intervalos de 20 cm de profundidad, se presentan en la figura 2. En ella se ha expresado el contenido total de agua en el suelo, como porcentaje respecto a Capacidad de Campo, en todo el marco de plantación del árbol (6 x 4 m) hasta 1 m de profundidad. Los valores son los obtenidos a partir de las lecturas de sonda de neutrones en las cuadrículas de tubos de acceso que ya fueron descritas. Se presenta el período 19/08/99 al 24/03/00, por tener la característica de que, a partir de octubre, las lluvias registradas fueron en general menores que la evapotranspiración,

**Cuadro 3.** Volúmenes totales por emisor (l), por temporada y en total desde el inicio del ensayo.

Emisor	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08	Total
1,6 l h <sup>-1</sup> (T2)	306	704	419	670	2.099
4,0 l h <sup>-1</sup> (T3)	765	1.760	1.049	1.674	5.247
2,0 l h <sup>-1</sup> (T5)	383	880	524	837	2.624



lo que determinó un importante proceso de secado del suelo. Esto a su vez posibilita una mejor visualización de la extracción de agua por el árbol y el aporte por el riego.

En el invierno (19/8), el suelo estaba cargado de agua en toda su profundidad. Al comienzo de la primavera, y antes de empezar a regar, los horizontes superiores continuaban muy cargados, pero por debajo de los 60 cm el contenido de agua era inferior a Capacidad de Campo, lo que sugiere que los árboles realizaban alguna extracción por debajo de 60 cm o existía una pérdida por drenaje. En todo caso, esta extracción fue cuantitativamente menor, pues en todo el horizonte C la diferencia entre Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente fue de sólo 19 mm.

**Figura 2.** Distribución del contenido de agua del suelo a 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 y 80-100 cm de profundidad, expresado como porcentaje del contenido a Capacidad de Campo, para un árbol regado (T3) y un árbol de secano (T1), en el período 19/8/99 al 24/3/00.



El 4/10, a los pocos días de comenzar el riego, ya se notaba la banda mojada por los goteros no sólo en los horizontes con mayor desarrollo radical (0 a 40 cm), sino que ya alcanza los 90 cm de profundidad, resultando en pérdidas de agua por percolación profunda.

El 28/12, luego de un período de 20 días desde la última lluvia, el perfil estaba muy seco en su totalidad, con la excepción de la banda mojada. El árbol regado tenía en el horizonte de 0 a 20 cm una zona extremadamente seca que correspondía a la entrefila. El árbol de secano, por el contrario, tenía en ese horizonte la zona extremadamente seca en la fila. Es interesante comprobar que, a pesar de que cerca de la superficie —a aproximadamente 1,50 m de distancia del centro de la fila había zonas a Punto de Marchitez Permanente— a 90 cm de profundidad se notaba claramente la banda mojada.

Esta observación es importante a los efectos de un correcto diseño y operación de los equipos de riego localizado en las condiciones de Uruguay. En efecto, era un supuesto hasta ahora aceptado que en el caso de suelos muy estratificados, con horizontes subsuperficiales muy arcillosos (horizontes Bt), como es el caso del suelo de este ensayo y la gran mayoría de los suelos del Uruguay, el bulbo mojado por el gotero debería tener un desarrollo horizontal mucho mayor que vertical. Sin embargo lo que se constata es que el bulbo de mojado del gotero tiene un desarrollo muy importante en profundidad, mientras que no puede alcanzar un ancho mayor a 1 m aproximadamente.

La siguiente figura, corresponde al 4/1, una semana después de la anterior. En ese período llovieron 20 mm. Pese a lo escaso de esas precipitaciones, se dio un aumento del contenido de agua del suelo, en ambos árboles, hasta 90 cm de profundidad. Sin embargo, es probable que esta distribución en profundidad se haya realizado a través de las grietas formadas en el suelo. Dichas grietas eran muy notorias en esa fecha, y son muy frecuentes en los suelos del Uruguay, dado el tipo de arcillas expansivas que existen (montmorillonitas).

Las pautas de distribución de humedad correspondientes al 23/2 y al 2/3 son casi idénticas entre sí. En ambas fechas se ven zonas del suelo con un contenido de humedad inferior al Punto de Marchitez Permanente. Como ya fue comentado, en el caso del árbol regado estas zonas están sobre todo en la entrefila, mientras que en el árbol de secano la zona más seca corresponde a la fila. Es de destacar que aún en estas fechas, cuando se alcanzaron los momentos de mayor estrés de los cinco años estudiados (el potencial hídrico foliar antes de amanecer ( $\Psi_a$ ) el día 16/2, en los árboles del T1 era  $-2.73$  MPa) (García y Castel, 2004), la banda mojada

por los goteros se extendía por lo menos hasta 90 cm de profundidad.

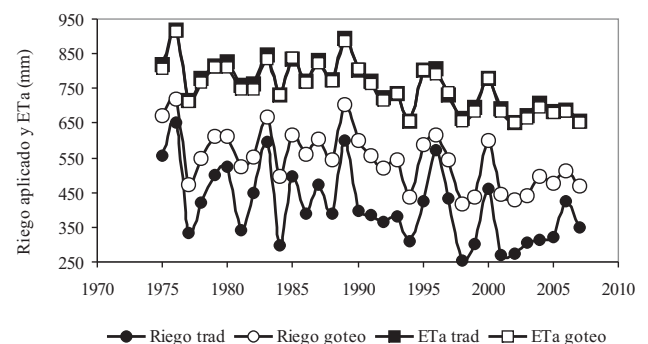
Finalmente, el 24/3 se volvió a recargar el suelo, producto de las importantes lluvias caídas. Es interesante ver que en el caso del árbol regado, que como ya fue dicho tenía su entrefila muy bien empastada, se mantuvo esta zona con contenidos inferiores de agua aún a 90 cm de profundidad. En el caso del árbol de secano, con una entrefila mucho más rala, es justamente esta zona la que alcanza mayor contenido de agua, aún a la máxima profundidad.

En síntesis, estos resultados muestran que, a pesar de ser un verano extremadamente seco, en que el equipo operando a su máxima capacidad no fue capaz de cubrir la ETc pico del cultivo, existieron pérdidas de agua por percolación en profundidad. Aunque no se hizo una cuantificación de esas pérdidas, las mismas fueron evidentes.

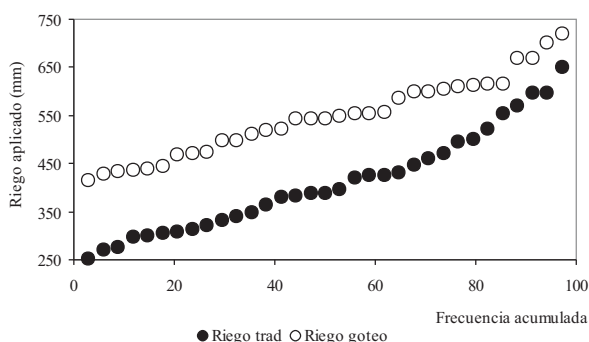
## 2. Ahorro de agua

Dado que el objetivo del riego simulado era lograr el máximo rendimiento del cultivo, la Evapotranspiración real (ETa) promedio fue similar en los dos métodos, 757 y 752 mm para el «tradicional» y el localizado, respectivamente (figura 3). En la misma figura se observa claramente que en todos los años de la serie, las necesidades netas de riego en el caso de riego «tradicional» fueron sensiblemente menores a las de riego por goteo.

Si se hace un análisis de frecuencias (figura 4), para cubrir las necesidades en el 50 % de los años, el método «tradicional» requirió 388 mm de riego complementario en la temporada, mientras que el localizado requirió 545 mm (40 % más).

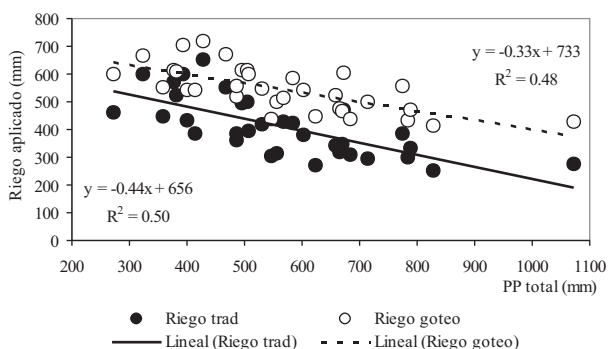


**Figura 3.** Evapotranspiración real (ETa) y riego total aplicado en riego “tradicional” y riego por goteo, en el período 1975/2007. Valores en mm anuales.



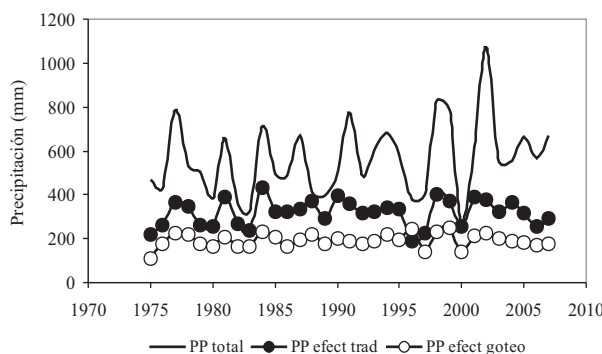
**Figura 4.** Frecuencias acumuladas de necesidades de riego anual, para el riego “tradicional” y por goteo.

Un análisis de regresión entre el total de precipitación anual y el riego total aplicado (figura 5), nos muestra que por cada mm adicional de lluvia durante la temporada de crecimiento del cultivo, la necesidad de riego «tradicional» se reduce en 0,44 mm, mientras que en riego por goteo esta reducción es de sólo 0,33 mm.



**Figura 5.** Necesidades anuales de riego en función del total de precipitación anual.

La explicación de este ahorro de agua de riego se visualiza claramente en la figura 6. Del total de lluvias caídas, que en el promedio de los 33 años fueron 564 mm en la temporada del cultivo, el riego «tradicional» aprovechó 319 mm, con una efectividad promedio de la lluvia del 57 %, mientras que el riego por goteo sólo aprovechó 192 mm, con una efectividad del 34 %.



**Figura 6.** Precipitaciones totales, precipitaciones efectivamente usadas por el riego “tradicional” y precipitaciones efectivamente usadas por el riego por goteo, en todas las temporadas simuladas.

### 3. Compactación del suelo

Los resultados obtenidos se presentan resumidos en el cuadro 4.

La densidad aparente del suelo fue de 1,19 g cm<sup>-3</sup> en el tratamiento sin riego, y de 1,30; 1,30 y 1,27 g cm<sup>-3</sup> respectivamente en los tres tratamientos regados. Éstos no fueron estadísticamente diferentes entre sí, pero sí aumentaron significativamente (p=0,065) la compactación respecto al testigo no regado.

**Cuadro 4.** Densidad aparente del suelo del ensayo bajo los goteros y entre los goteros, cuatro años después de instalados los tratamientos de riego.

Tratamiento	Emisores	Densidad Aparente (g cm <sup>-3</sup> )(*)	
		Bajo goteros	Entre goteros
1	Secano	1,19	b
2	1,6 l h <sup>-1</sup> a 0,4 m	1,30	a
3	4,0 l h <sup>-1</sup> a 1,0 m	1,27	a
5	2,0 l h <sup>-1</sup> a 1,0 m	1,30	a
Prob.		0,065	n.s.

(\*) Cada valor es la media de 5 repeticiones. Valores seguidos de la misma letra no difieren entre sí.

Esta primera evidencia experimental de compactación debida al riego por goteo, deberá ser confirmada o desechada en futuros trabajos de investigación.

### Conclusiones

Utilizando una sola línea porta goteros por fila de árboles, tal cual es el manejo usual en Uruguay, la banda mojada se restringe a 1 m de ancho, y se extiende en profundidad por debajo de la zona radical, perdiéndose agua por percolación. Desde el punto de vista del manejo del agua y sin hacer consideraciones de costos, sería conveniente regar con dos líneas, una a cada lado de la fila.

Aunque la eficiencia de aplicación (Ea) del riego por goteo no fue medida específicamente, si se toman en consideración las pérdidas por percolación permanentes ya señaladas, se puede inferir que dicha Ea es menor a los valores normalmente utilizados y basados en la literatura. Por lo tanto, se está sobre valorando la cantidad de agua aplicada efectivamente usada por los árboles.

La aplicación de fertilizantes sólidos solubles, en aquellos montes regados con una sola línea de goteo, no se debería hacer bajo toda la copa, como se realiza actualmente, sino que se debería concentrar en una franja de 1 m a cada lado de la fila de árboles.

En las condiciones climáticas del Uruguay, un mismo cultivo requiere un 40 % más de volumen total de agua de riego neto si se riega por goteo que si se regara por un método «tradicional». Esta mayor necesidad de riego se debe a un menor aprovechamiento del agua de lluvia.

Por lo anterior, aún regando con un método de riego con eficiencia de aplicación menor a la del goteo, el volumen bruto total aún seguiría siendo menor.

Se presenta además una primera evidencia experimental de compactación debida al riego por goteo en suelos de textura fina, la que deberá ser confirmada o desechada en futuros trabajos de investigación.

### Bibliografía

- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D. and Smith, M.** 1998. Crop evapotranspiration. Guideline for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper N° 56, FAO, Rome. 300 pp.
- Durán, A.; Califra, A.; Molino, J. H. and Lynn, W.** 2005. Keys to Soil Taxonomy for Uruguay. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. 77 pp.
- Evans, R. G.; Wu, I.P. and Smajstrala, A. G.** 2007. Microirrigation systems. En: Design and operation of farm irrigation systems. 2<sup>nd</sup> Edition. ASABE. pp 632-683.
- García Petillo, M. and Castel, J. R.** 2004. The response of Valencia orange trees to irrigation in Uruguay. Span. J. Agric. Res. 2(3)429-443.
- Hanson, B.; Bowers, W.; Davidoff, B.; Kasapligil, D.; Carvajal, A. and Bendixen, W.** 1995. Field performance of microirrigation systems. In: Lamm, F.R. (ed.) Microirrigation for a Changing World: Conserving Resources/Preserving the Environment. (Proc. 5th. Int. Microirrigation Congress. Orlando, Florida) ASABE, St. Joseph. MI, pp. 769-774.
- Morales, P.; García Petillo, M.; Hayashi R. y Puppo, L.** 2007. Respuesta del duraznero a diferentes patrones de aplicación del agua. En: Modernización de Riegos y Uso de Tecnologías de Información., Red de Riegos de CYTED, La Paz, Bolivia, 17-19 de septiembre de 2007. (<http://ceer.isa.utl.pt/cyted/>) consulta: julio de 2009.
- Moya Talens, J. A.** 1994. Riego localizado y fertirrigación. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 363 pp.
- Richards, L. A.** 1947. Pressure-membrane apparatus construction and use. Agr. Engin. 28:451-454.
- Rodrigo López, J.; Hernández Abreu, J. M.; Rérez Regalado, A. y González Hernández, J. F.** 1992. Riego localizado. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 405 pp.
- Vermeiren, L. y Jobling, G. A.** 1986. Riego localizado. FAO Irrigation and Drainage Paper N° 36, FAO, Roma, 203 pp.