

## El volumen húmedo del suelo en el riego localizado. Importancia y evaluación

J.R. Gispert Folch y J.A. García Fàbrega

Departamento de Arboicultura Mediterránea. Centro de Mas Bové – Constantí (Tarragona). Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (I.R.T.A.).

**RESUMEN.** El estudio del movimiento del agua a través del suelo es fundamental para la resolución de diferentes aspectos de la ingeniería hidráulica y programación de riegos. El trabajo hace referencia a una metodología que permite evaluar el tamaño del volumen húmedo de un suelo. Pruebas de campo en el área de Bovera – Flix (Lleida, Tarragona) a partir de diferentes emisores, microaspersores, mangueras, cintas y tiempos de irrigación, ofrecen una útil y amplia panorámica sobre el tema. Este trabajo permite definir la distribución de humedad en la zona no saturada, el número de puntos de riego por árbol, tiempo y dosis de riego, además de la separación entre emisores.

**ABSTRACT.** The study of the water movement in the soil is important in resolving different aspects of hydraulic engineering and irrigation scheduling. This work presents a methodology that allows the wet volume of the soil to be evaluated. Field tests in the Bovera – Flix area (Lleida, Tarragona) using four water emitters, sprinklers, hose drippers, exuding strips over varying lengths of time provided extensive information on the subject. This work allows to define moisture distribution patterns in the unsaturated zone as well as number of irrigators per tree, time and dosage of watering and also separation between irrigators.

### 1.- Introducción.

Garantizar las mejores condiciones de utilización y óptimo aprovechamiento de suministro hídrico a la planta han de ser los objetivos fundamentales que ha de asumir todo correcto sistema de riego.

En este sentido, un riego correcto es aquel capaz de aplicar el agua a los cultivos en la cantidad necesaria, de acuerdo a las condiciones de clima y suelo del lugar en cuestión; en el momento oportuno, dejando un contenido de humedad en el suelo suficiente (capacidad de campo) con una distribución homogénea para todas las plantas de la parcela regada.

Para humedecer correctamente un suelo, sin que este quede ni seco ni demasiado húmedo, será fundamental conocer como se comporta el agua; como se mueve, como

se almacena, como la planta la absorbe y cuales son las pérdidas que se producen.

Se denomina ‘ *Volumen húmedo* ‘ del suelo a la variada disposición tridimensional que puede ocupar el frente de humedad del agua de riego en un determinado suelo, a partir de un punto de irrigación (gotero, microaspersor, manguera, cinta, etc.) en un sistema de riego localizado de alta frecuencia.

El grado de desarrollo del volumen húmedo del suelo depende de diversos factores tales como:

- Estructura (Tipo y disposición de los agregados).
- Estratificación (presencia o ausencia de determinados horizontes genéticos).
- Tipo de irrigador (gotero, microaspersor, manguera, cinta).
- Caudal del irrigador (l / h).
- Tiempo de riego (h).
- Altura del irrigador al suelo (m).
- Contenido de humedad del suelo al inicio del riego (%).
- Pendiente de la parcela (%).

Conocer la forma y tamaño del volumen húmedo del suelo es un aspecto importante a considerar para optimizar la utilización del agua, evitar percolaciones profundas y diseñar correctamente una instalación de riego localizado.

En este sistema de riego, evaluar la forma y tamaño del volumen húmedo permite definir aspectos tan importantes como:

- Dosis y frecuencia de riego (programación).
- Número de goteros, microaspersores, mangueras o cintas por árbol, así como su separación (diseño agronómico).
- Dimensionado de las tuberías, elementos de control y medida (diseño hidráulico).

Algunos trabajos realizados que hacen referencia al comportamiento hidrológico del suelo definen el contenido hídrico en un punto determinado y a lo largo de un perfil más que la forma o el tamaño del volumen húmedo de este suelo. Métodos conocidos como: gravimetría, potencial hídrico, sonda de neutrones, sonda T.D.R., prospección geoléctrica, etc son diversos ejemplos en esta línea

En este sentido, el contenido volumétrico de humedad en un punto determinado de un suelo puede ser estimado en base a la ralentización de la velocidad de desplazamiento de los neutrones de alta energía al contactar con los átomos de hidrógeno de las moléculas de agua (Luebs et al.,1968). También este contenido puntual de humedad puede ser

evaluado mediante un impulso electromagnético, de alta frecuencia.(Topp et al.,1980).Asimismo, estudios que utilizan sistemas de prospección eléctrica en el suelo han sido llevados a cabo por diversos científicos (Shea,1961; Rhoades et al.,1976; Topp et al., 1980; Urish, 1981) aunque son más oportunos para definir cambios litológicos y evaluaciones geológicas.

Sin embargo, todos estos métodos, suficientemente útiles para definir un contenido volumétrico puntual de humedad en el suelo, no son prácticos de utilizar cuando lo que se pretende es definir un frente de avance húmedo, así como la forma y el tamaño del volumen húmedo de un suelo.

Algunos trabajos orientados a definir el tamaño y forma del volumen húmedo del suelo parten de supuestas formas del frente de humedad para establecer correlaciones con el posible volumen húmedo generado (Zur, 1976; Mitchell y Goodwin, 1997).

El material y metodología que se presenta en este trabajo esta orientado no tanto a buscar el contenido puntual de humedad de un suelo como la definición real del contorno y tamaño volumétrico del suelo húmedo, en un punto de irrigación y en un sistema localizado de alta frecuencia. La metodología se basa en la facilidad o dificultad al paso eléctrico que ofrece un determinado suelo según sea su contenido hídrico.

En este sentido, la mayor o menor presencia de agua en el suelo puede ser detectada mediante prospecciones eléctricas, de tal manera que a menor tamaño de la partícula (arcilla) hay más contenido hídrico, menor resistividad ( $\Omega \cdot m$ ) y más conductancia (dS/m) (Rhoades et al., 1976; Urish, 1981). Asimismo, al disminuir el contenido hídrico del suelo aumenta su resistividad y disminuye su conductividad al paso eléctrico (Shea et al. 1961). En consecuencia, el coeficiente de transmisividad de un suelo aumenta en función del aumento del contenido volumétrico de agua (Rhoades et al. 1976).

A continuación se indica el material y la metodología utilizados para caracterizar el volumen húmedo de un suelo. Posteriormente se presentan los resultados obtenidos en una aplicación práctica del material y el método.

## 2.- Material y métodos.

### 2.1.- Evaluación de la forma y tamaño del volumen húmedo del suelo.

Evaluar el área húmeda generada por un emisor en la superficie de un determinado suelo no presenta ninguna dificultad de acceso y, por tanto, se puede realizar fácilmente (Fig.1). El problema surge cuando hay que conocer a nivel subsuperficial el desplazamiento del frente de humedad y el contorno del volumen húmedo generado.

El material utilizado por los autores del presente trabajo permite situar el contorno del volumen húmedo del suelo, generado en un punto de riego (gotero, microaspersor, manguera o cinta) en un sistema de riego localizado de alta frecuencia. Es un prototipo de aparato, diseñado por los

propios autores, cuyo funcionamiento se basa en la propiedad física que presenta un suelo para conducir más o menos la electricidad, según el nivel de humedad que contiene (Fig. 2).

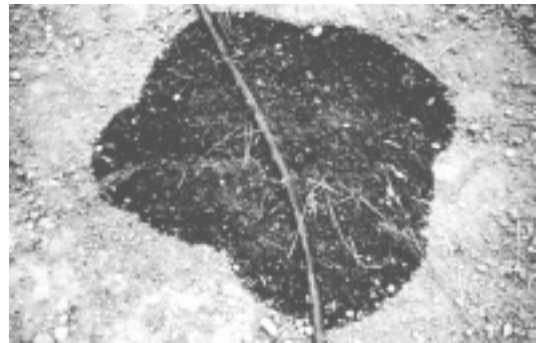


Fig. 1. Area húmeda generada por un emisor.

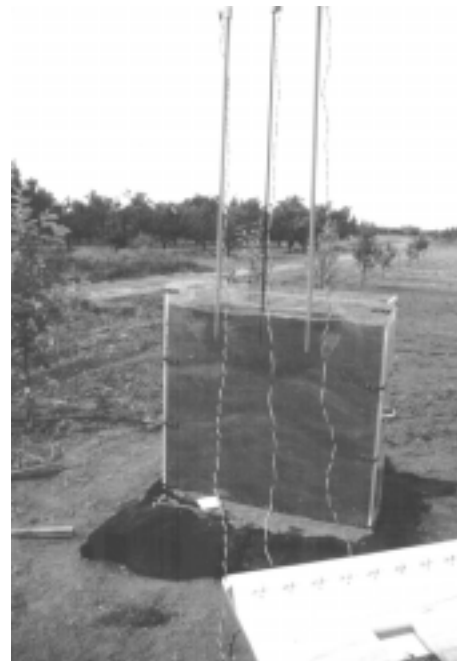


Fig. 2. Prototipo para evaluar el volumen húmedo.

Los componentes fundamentales del prototipo son:

- Electrodo de acero dulce, resistividad ( $\rho$  20° C) =  $10 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ , coeficiente variación ( $\infty$ ) =  $5 \times 10^{-3}$ , de 1.5 m de longitud y sección cilíndrica ( $\varnothing = 12$  mm). Extremo inferior acabado en punta cónica de 15 mm (base) y 50 mm (longitud). Extremo superior enroscado a pieza cilíndrica ( $\varnothing = 30$  mm) con saliente de 40 mm para enganche a conductor eléctrico bifilar. Todo el electrodo va forrado de plástico aislante para dejar al descubierto únicamente la punta cónica.
- Conductor eléctrico bifilar (2 x 25) de cobre ( $\rho = 1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m, \infty = 3.9 \times 10^{-3}$ ) de 4 m de

longitud, acabado en un extremo en enchufe monofilar y en el otro en pinza monofilar boca de cocodrilo.

- Multímetro analógico K – 1109, voltaje máximo de 12 V (CC) para margen de resistencia de  $\times 10 \text{ K}\Omega$  (escala  $\times 1$ ,  $\times 10$ ,  $\times 1\text{K}$ ,  $10 \text{ K}\Omega$ ).
- Mesa plegable, transportable de control y lectura con interruptores ON / OFF (apertura y cierre del campo eléctrico) entre electrodos consecutivos. Batería de enchufes polares para conexión de los conductores bifilares que van unidos a los electrodos

La metodología se aplica introduciendo verticalmente un conjunto de electrodos, que ocupan una posición transversal a la superficie húmeda, dentro el volumen húmedo del suelo, los cuales van unidos mediante conductor bifilar a un multímetro que mide la resistencia al paso eléctrico. Estos electrodos, a medida que van siendo introducidos en el suelo, permiten hacer lecturas puntuales consecutivas a diferentes profundidades. Un aumento significativo de resistencia permite definir una zona de transición húmeda a seca y viceversa y situando la unión de aquellos valores similares el contorno del frente de humedad del volumen húmedo generado en el suelo a partir de un punto de irrigación.

Una tabla de ejes coordenados permitirá ir dibujando, en profundidad, el contorno del frente de humedad en un punto de irrigación.

## 2.2.- Importancia de la prueba de campo.

La mejor manera de conocer el tamaño y forma del volumen húmedo en un determinado suelo es mediante la aportación de agua en el mismo campo donde, posteriormente, hay que diseñar, instalar y manejar el sistema de riego, haciendo en definitiva lo que se conoce como prueba de campo (Fig. 3).



Fig. 3. Prueba de campo en Flix ( Tarragona ).

Para la realización rigurosa de la prueba de campo se hizo necesario diseñar un sistema portátil de riego localizado de

alta frecuencia que permitiera, a partir de suelos previamente conocidos edafológicamente, aplicar diferentes dosis de agua en lugares distintos de la parcela, utilizando diversos irrigadores (goteros, microaspersores, mangueras, cintas). Todo funcionando en las mismas condiciones de presión y caudal nominales que recomienda el fabricante.

Los componentes de este sistema portátil son:

- Depósito exagonal desmontable de poliéster,  $\varnothing$  3.00 x 0.80 mts, capacidad 4.8 m<sup>3</sup>.
- Generador de energía eléctrica para funcionamiento de electrobomba y programador. Motor de explosión 4 tiempos, válvula en cabeza y 1 cilindro. Potencia máx. 8 HP / 3600 r.p.m. Consumo combustible, 230 g / HPh.
- Electrobomba centrífuga horizontal. Motor eléctrico monofásico 220 V., 50 Hz. W = 0.75 HP, Q = 1 m<sup>3</sup> / h , H = 25 m.c.a.
- Programador para arranque/ paro de electrobomba y electroválvulas. Sectorización por tiempo.
- 36 electroválvulas (2 u / ramal de riego), D<sub>n</sub> (mm) = 25 (3 / 4 “), W = 0.5 – 10 Kg / cm<sup>2</sup> , Q = 0.1 – 3.4 m<sup>3</sup> / h.
- 1 filtro de anillas,  $\varnothing$  3 / 4 “ , 120 Mesh, Q = 0 – 4 m<sup>3</sup> / h.
- 18 ramales de riego (15 m / ramal), PE – 32, D<sub>n</sub> (mm) = 25, P<sub>n</sub> = 2.5 Kg / cm<sup>2</sup>
- 18 reguladores de presión (3 / 4 “), uno por cada ramal. Regulación inferior por tornillo y conexión superior a manómetro 2.5 Kg / cm<sup>2</sup>.
- Emisores autocompensantes de 4, 8, 24 l / h (3 u / ramal, 3 rep.), microaspersores autocompensantes 35 l / h (3 u / ramal, 3 rep.), manguera emisor integrado 5 l / h.ml (15 m / ramal, 3 rep) y cinta exudación 2.5 l / h. ml (15 m / ramal, 3 rep).

Esta instalación de riego localizado transportable y el prototipo evaluador del volumen húmedo mencionados permitió la ejecución metodológica de caracterización hidrológica de los suelos en una area de nuevos regadios.

Fue durante la campaña de 1996 y en los meses de mayo, junio y julio, cuando se establecieron 6 pruebas de campo, consecutivas, en diversos parajes y parcelas, previamente caracterizadas edafológicamente, dentro los términos municipales de Bovera y Flix (Lleida i Tarragona), donde recientemente se ha puesto en marcha el denominado ‘Riego de auxilio de les Garrigues’, que ocupa una superficie de 2126 ha. La finalidad del estudio realizado consistió en definir posibles áreas diferenciadas de comportamiento hidrológico del suelo, que pudiera tener influencia tanto en el diseño del riego como en el manejo del agua.

En todas las pruebas de campo llevadas a cabo se establecieron los siguientes tratamientos de riego:

Emisor autocompensante de 4 l / h, aplicando 2, 4 y 6 horas de riego.

Emisor autocompensante de 8 l / h, aplicando 2, 4 y 6 horas de riego.

Emisor autocompensante de 24 l / h aplicando 2, 4 y 6 horas de riego.

Microaspersor autocompensante de 35 l / h, aplicando 2, 4 y 6 horas de riego.

Manguera de riego 5 l / h ml, aplicando 2, 4 y 6 horas de riego.

Cinta de exudación 2.5 l / h ml, aplicando 2, 4 y 6 horas de riego.

Los emisores trabajaron a una presión de 1 Kg / cm<sup>2</sup>, los microaspersores a 1.5 Kg / cm<sup>2</sup>, la manguera y la cinta a 0.5 Kg / cm<sup>2</sup>.

Cada una de estas alternativas fue repetida en tres lugares distintos de la parcela para poder estimar la posible variabilidad del suelo y así calcular, posteriormente, una media representativa de las tres observaciones.

Las pruebas de campo fueron realizadas en suelos nunca regados en un clima árido o semiárido y se iniciaron cuando el contenido en humedad, a 30 cm de profundidad, era próximo al 50 % del agua útil.

2.3.- Aspectos agronómicos del sistema de riego.

Para poder determinar aspectos tales como el número de irrigadores por árbol, el tiempo de riego o la separación entre irrigadores, hubo que establecer una serie de condicionantes previos tales como:

- a) Área sombreada por el cultivo (olivo y almendro) : 12 m<sup>2</sup> (2 m de radio)
- b) Porcentaje de volumen húmedo del suelo: 25 – 35 % del Vpr.
- c) Profundidad radicular estimada: variable según el tipo de suelo (0.3 – 0.7 m).
- d) Porcentaje de solapamiento entre volúmenes húmedos consecutivos: 15%.

• Vpr = Volumen potencial de suelo explorado por las raíces equivalente a un cilindro de base el area sombreada y profundidad variable (0.3 – 0.7 m) de las raíces.

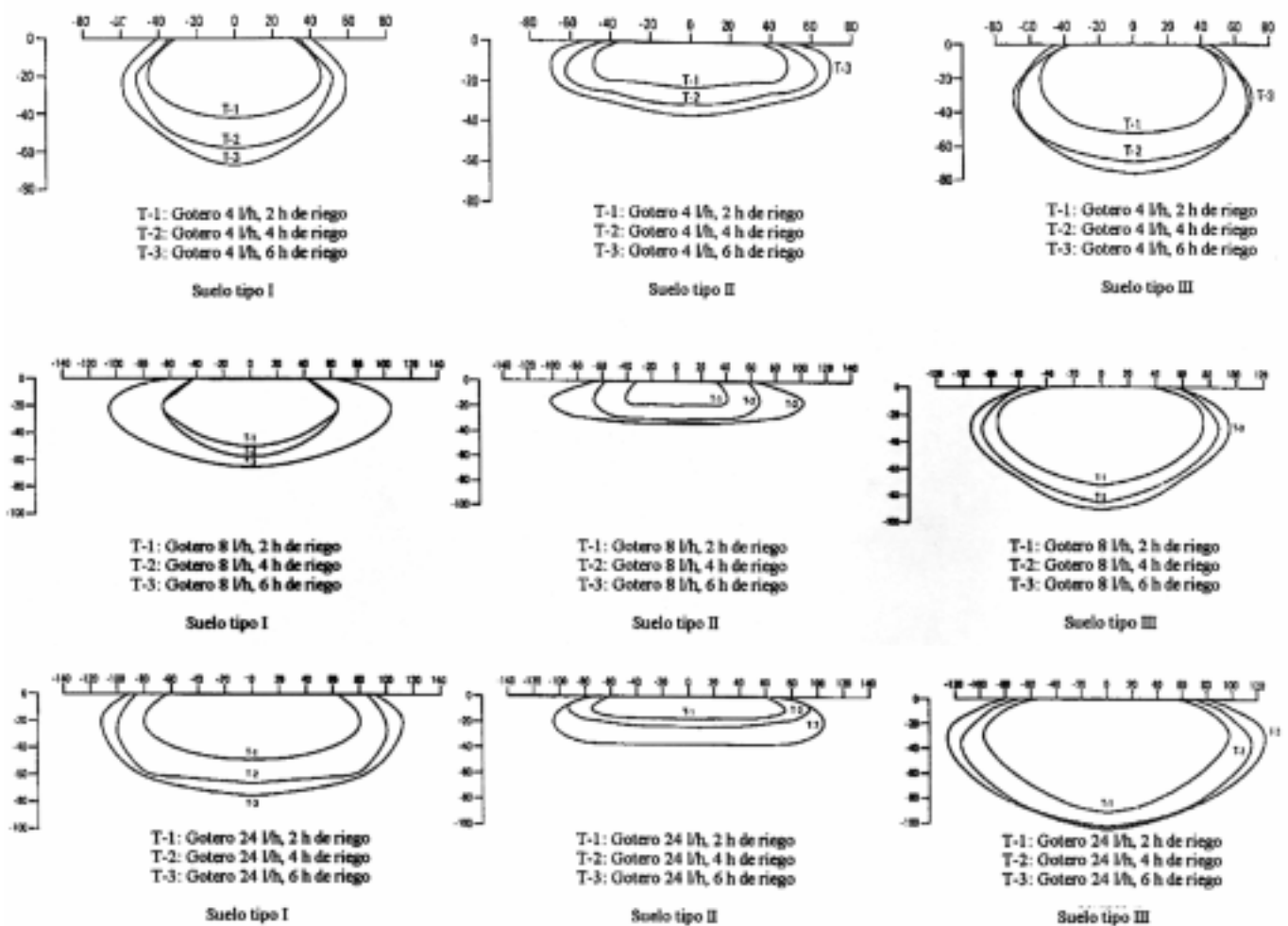
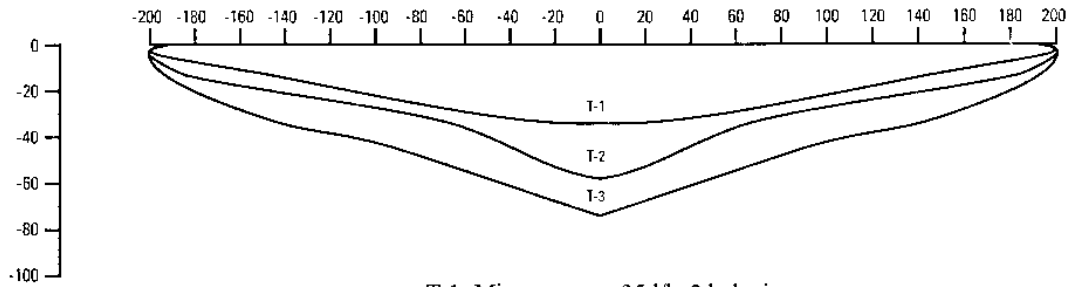
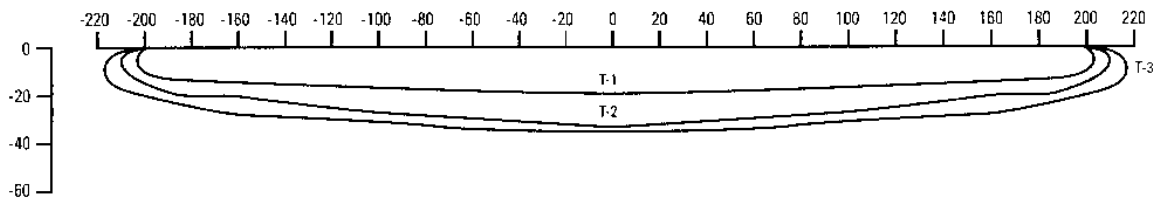


Fig.4. Forma y tamaño de la sección transversal del volumen húmedo del suelo generado a partir de la irrigación con goteros de 4, 8 y 24 l/h, durante 2,4 y 6 horas de riego en los diferentes tipos identificados de suelo (I, II y III). (anchura y profundidad en cm). Gispert, J.R.; Garcia, J.A. 1996. Depto. Arboricultura Mediterránea. Mas Bové. IRTA.



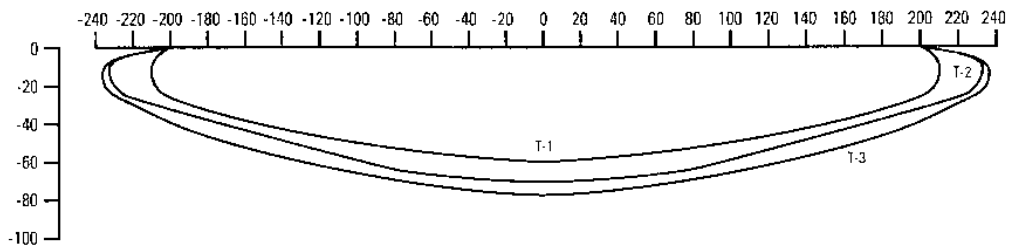
T-1: Microaspersor 35 l/h, 2 h de riego  
 T-2: Microaspersor 35 l/h, 4 h de riego  
 T-3: Microaspersor 35 l/h, 6 h de riego

Suelo tipo I



T-1: Microaspersor 35 l/h, 2 h de riego  
 T-2: Microaspersor 35 l/h, 4 h de riego  
 T-3: Microaspersor 35 l/h, 6 h de riego

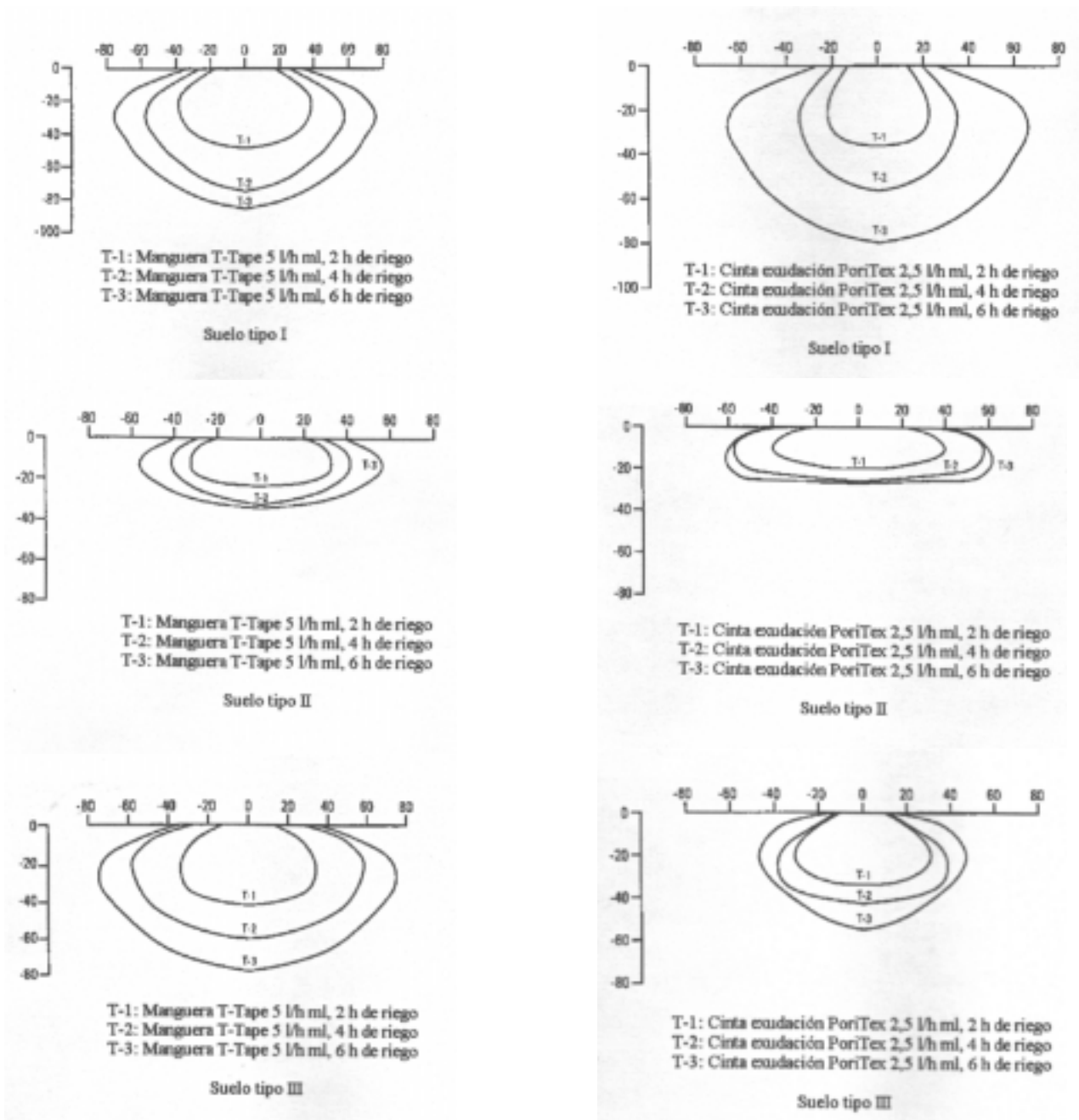
Suelo tipo II



T-1: Microaspersor 35 l/h, 2 h de riego  
 T-2: Microaspersor 35 l/h, 4 h de riego  
 T-3: Microaspersor 35 l/h, 6 h de riego

Suelo tipo III

**Fig. 5.** Forma y tamaño de la sección transversal del volumen húmedo del suelo generado a partir de la irrigación con microaspersores de 35 l/h, durante 2,4 y 6 horas de riego en los diferentes tipos identificados de suelo (I, II y III). (anchura y profundidad en cm). Gispert, J.R.; Garcia, J.A. 1996. Depart. Arboricultura Mediterránea. Mas Bové. IRTA.



**Fig. 6.** Forma y tamaño de la sección transversal del volumen húmedo del suelo generado a partir de la irrigación con mangueras de gotero integrado y cintas de exudación, durante 2,4 y 6 horas de riego en los diferentes tipos identificados de suelo (I, II y III). (anchura y profundidad en cm). Gispert, J.R.; García, J.A. 1996. Depart. Arboricultura Mediterránea. Mas Bové. IRTA

### 3.- Resultados y discusión.

#### 3.1.- Caracterización hidrológica del suelo.

Fruto del tratamiento estadístico de los datos obtenidos en las pruebas de campo en el área objeto del estudio, fueron identificados 3 tipos principales de suelos con características de comportamiento hidrológico diferenciado.

I.- Suelos con más de 50 cm de profundidad y textura franca fina.

II.- Suelos con menos de 50 cm de profundidad y textura franca. (Hor. Petrocálcico).

III.- Suelos muy profundos y textura franco gruesa.

Las medidas de la sección transversal del volumen húmedo generado por diferentes irrigadores y tiempos de riego en cada uno de los tipos de suelo (I, II y III) determinados; son representados en las Figuras 4, 5 y 6

En estas Figuras que se acompañan se observan los siguientes extremos:

- A mayor caudal del emisor hay saturación más rápida en superficie lo cual genera un mayor

movimiento horizontal del agua en detrimento del vertical, favoreciendo la formación de áreas húmedas más amplias ( Fig. 4 ).

- La presencia de capas impermeables (horizonte petrocálcico genera volúmenes húmedos con predominio de movimiento horizontal y profundidad limitada por la propia capa impermeable (Figuras 4, 5, 6 ; suelo tipo II).
- Cuando el caudal del emisor es muy superior a la capacidad de infiltración del suelo se producen áreas saturadas con escorrentia superficial importante y volúmenes húmedos asimétricos. (Fig. 4, gotero 24 l / h).
- El riego por microaspersión genera áreas húmedas amplias con profundidad decreciente desde el centro a la periferia del volumen húmedo. Hay que observar este aspecto con cierto cuidado por el enraizamiento superficial a que da lugar y los inconvenientes que ello comporta como son el escaso anclaje del árbol y la mayor evaporación hídrica a nivel superficial. (Fig. 5).
- El avance del frente de humedad del volumen húmedo es más profundo en sus primeros estadios T1, respecto a T2 y T3, tanto en los emisores como en los microaspersores (Fig. 4 y 5); siendo en cambio, comparativamente, más regular en T1, T2 y T3 en sistemas de bajo caudal (manguera y cinta exudación). (Fig.6).
- En general los volúmenes húmedos son superiores, a igualdad de aportación hídrica en suelo del tipo III, de textura más gruesa que el resto (suelo I y II).

### 3.2.- Diseño agronómico del sistema de riego.

En función de la caracterización hidrológica del suelo y los condicionantes pre- establecidos (apartado 2.3) se definió el número de irrigadores por árbol, el tiempo de riego conveniente y la separación entre irrigadores consecutivos (Tablas 1 a 3).

El material y la metodología diseñados permitieron definir, como puede observarse en las Tablas 1, 2 y 3, algunos importantes aspectos del sistema de riego tales como: número de puntos de riego por árbol, tiempo y dosis, además de la separación correcta entre puntos de riego. A partir de estos valores, el diseño hidráulico correspondiente es inmediato y puede ser calculado en función de las características propias de cada finca o parcela.

En las Tablas 1, 2 y 3 puede observarse un número muy similar de puntos de riego para los distintos suelos, pero al variar los tiempos de irrigación da lugar a porcentajes de volúmenes húmedos diferenciados, más adecuados para cada circunstancia.

**Tabla 1.** Olivos o almendros de 12 m<sup>2</sup> y suelos tipo I.

Tipo de irrigador	Número por árbol	Tiempo de riego (h)	Separación (m)
Gotero autoc. 4 l/h	6	6	1
Gotero autoc. 8 l/h	4	6	1.20
Gotero autoc.24 l/h	2	4	1.50
Manguera, 5 l/hm	4 m	6	0.6 m del árbol
Cinta, 2.5 l/hm	6 m	6	1.0 m del árbol

**Tabla 2.** Olivos o almendros de 12 m<sup>2</sup> y suelos tipo II.

Tipo de irrigador	Número por árbol	Tiempo de riego (h)	Separación (m)
Gotero autoc. 4 l/h	5	4	1.15
Gotero autoc. 8 l/h	4	4	1.20
Gotero autoc.24 l/h	2	4	1.75
Manguera, 5 l/hm	4 m	3	1.0 m del árbol
Cinta, 2.5 l/hm	6 m	3	1.0 m del árbol

**Tabla 3.** Olivos o almendros de 12 m<sup>2</sup> y suelos tipo III.

Tipo de irrigador	Número por árbol	Tiempo de riego (h)	Separación (m)
Gotero autoc. 4 l/h	5	4	1.20
Gotero autoc. 8 l/h	4	2	1.40
Gotero autoc.24 l/h	2	2	1.80
Manguera, 5 l/hm	4 m	4	1.0 m del árbol
Cinta, 2.5 l/hm	6 m	3	1.0 m del árbol

Asimismo en cada tabla se indican para cada tipo de suelo las distintas alternativas que generan volúmenes húmedos muy similares y que, según las características propias de cada parcela, tendremos opción de establecer.

### Referencias.

- Luebs, R.E., Brown, M.J y Loag, A.E. 1968.- Determining water content of differents soils by the neutron method. *Soil Sci. Baltimore Md: Williams & Wilkins. Sept. 1968 v. 106 (3) p. 207 – 212*
- Mitchell, D. y Goodwin, I. 1998.- Wetting patterns. *Australian nutgrower. February 1998, p. 6 – 8.*
- Rhoades, J.D., P.A.C., Raats y Prather, R.J. 1976. Effects of liquid-phase electrical conductivity water content, and surface conductivity on bulk soil electrical conductivity. *Soil Science of America Journal. v. 40. pp 651-655.*
- Shea, P.F. y Luthin, J.N. 1961. An investigation of the use of the four electrode probe for measuring soil salinity in situ. *Soil Science. v. 92. pp 331-339.*
- Singh, V.P. y Joseph, E.S. 1994. Kinematic-wave model for soil-moisture movement with plant root extraction. *Irrigation Science. v. 14. pp 189-198.*
- Topp, G.C., Davis, J.L. y Annan, A.P. 1980. Electromagnetic determination of soil water content. Measurement in coaxial transmission lines. *Water resources. Research 16: 574 – 582.*
- Urish, D.W. 1981. Electrical resistivity-hydraulic conductivity relationships in glacial outwash aquifers. *Ground water. v. 19 (2). pp 163-171.*
- Zur, B. 1996. Wetted soil volume as a desing objective in trickle irrigation. *Irrigation Science. v. 16. pp 101-105.*