

EVALUACIÓN DEL VOLUMEN DE SUELO HÚMEDO EN MICRO-IRRIGACIÓN. INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE ESTE VOLUMEN SOBRE EL COMPORTAMIENTO DEL OLIVO (*Olea Europaea L; cult. 'Arbequina'*).

J. R. Gispert Folch

Departamento de Arboricultura Mediterránea. Centro de Mas Bové – Constantí (Tarragona). Institut de Recerca i Tecnologies Agroalimentàries (IRTA)

RESUMEN. La definición del tamaño y forma del Volumen de Suelo Húmedo (VSH), en un sistema de micro-irrigación, es fundamental para el diseño y programación del sistema de riego. En este sentido, el trabajo indica una metodología y un equipo (EMVSH) que, basados en la correlación entre “Resistencia Eléctrica” (Ω) y “Contenido Volumétrico de Agua” (θ), permiten definir el contorno y capacidad del VSH. Asimismo se presentan resultados experimentales que demuestran la influencia del tamaño del VSH, a igualdad de la dosis de riego, sobre la producción del olivo.

ABSTRACT. The definition of the size and the shape of the Wet Volume of the Soil (WVS) in a micro-irrigation system is fundamental for the design and the programming of the irrigation system. Consequently, the study shows a methodology and a kit (KMWVS) that, based on the correlation between “Electric Resistance” (Ω) and “Volumetric Content of Water” (θ), allows to define the perimeter and capacity of the WVS. Also are presented experimental results showing the influence of the size of WSH, at the same irrigation level, on the yield of the olive tree.

1. Introducción

En los sistemas de riego a presión y, básicamente, en los de micro-irrigación, donde el agua es aportada gota a gota o pulverizada, esta se desplaza por el suelo en función de las propiedades físico-químicas del entorno.

La variada disposición tridimensional que puede ocupar el agua en el desplazamiento de su frente de humedad, en un determinado suelo y a partir de un punto de emisión, recibe el nombre de volumen húmedo (Gispert y García, 1994 a).

Bastantes estudios sobre este tema definen el mismo concepto con el nombre genérico de ‘bulbo húmedo’, por la similitud que puede tener este desplazamiento y la forma de un órgano subterráneo de reserva de algunas plantas hortícolas. En contra de este criterio es necesario indicar

que no siempre el desplazamiento del frente de humedad adopta una disposición ‘bulbosa’, por las variadas circunstancias de entorno. Por tanto, se considera más oportuno una definición que permite contemplar una mayor amplitud de disposiciones del frente de humedad como es el concepto de volumen húmedo, que de ahora en adelante será adoptado.

La forma y dimensiones del volumen húmedo dependen, ante todo, de las propiedades y características del perfil físico del suelo (Gispert y García, 1994 a) y, para un suelo dado, del volumen de agua aplicado, caudal del emisor, contenido de agua presente en el suelo al inicio de la irrigación y topografía del terreno (Roth, 1974; Goldberg, et al, 1976; Farshi, 1979).

El primer factor a considerar es el perfil físico del suelo o conjunto de propiedades físicas que intervienen en el movimiento del agua en este suelo, para cada uno de los horizontes o capas, pues el grado de estratificación que presenta el perfil es de gran importancia y, a veces, esto ha de ser evaluado en la profundidad explorada por las raíces.

En un suelo determinado, con un perfil establecido, la forma y dimensiones del volumen húmedo generado a partir de un emisor, dependerá de dos factores adicionales: volumen de agua aplicado y caudal del emisor. Estos dos factores han sido puestos de manifiesto experimentalmente por numerosos autores (Roth, 1974; Stevenson y Tait, 1974; Goldberg et al., 1976; Bresler, 1977 y 1978; Farshi, 1979; Gispert y García 1994 b, 1997 y 1999). También, a medida que aumenta el caudal del emisor hay mayor predominio del desplazamiento horizontal respecto del vertical. Para varios caudales y distintos suelos, el desplazamiento horizontal y vertical del frente de humedad crecen de forma más rápida al inicio del riego y de forma más atenuada a medida que aumenta el tiempo de aplicación (Gispert y García 1994 b, 1997 y 1999).

Las raíces del cultivo, en un sistema de micro-irrigación, ocupan una disposición tridimensional más o menos densa y más o menos coincidente con la distribución volumétrica de la humedad generada por un emisor en el suelo. Los estudios para evaluar el comportamiento de las raíces y su distribución respecto al volumen húmedo han sido varios y los resultados obtenidos diversos.

Así pues, numerosos autores han encontrado que la densidad de raíces se incrementa notablemente en las zonas húmedas, disminuyendo fuera del volumen húmedo. Goode et al. (1978) encontraron en manzano una densidad de raíces cuatro- cinco veces superior respecto a árboles no regados, en una zona con abundante pluviometría. Levin et al. (1979 y 1980) encontraron, también en manzano, que la distribución de raíces fue paralela a la distribución de la humedad, con aumento de densidad a mayor cercanía al punto de emisión. Atkinson (1980) obtuvo valores similares. Black y Mitchell (1974) en perales observaron que al cambiar el sistema de riego también se producía una redistribución de las raíces hacia las zonas mojadas y una reducción en la zona no mojada. Willoughby y Cockroft (1974) en melocotoneros encontraron una rápida adaptación de las raíces, dentro del volumen húmedo, a las mejores condiciones de humedad y aireación.

Es obvio, por tanto, la influencia que a nivel fisiológico y de nutrición hídrica puede ejercer el volumen húmedo del suelo y la gran importancia que representa la correcta definición de su forma y tamaño. El problema radica en encontrar una metodología que, sin dejar de ser rigurosa y fiable, sea a la vez operativa en su aplicación, respetuosa con el medio y de coste asequible para el usuario.

Por todo lo indicado anteriormente, se pretende exponer en la primera parte del artículo una metodología que permita dar respuesta a las cuestiones planteadas y para su aplicación presentar un “Equipo Medidor del Volumen de Suelo Húmedo (EMVSH)”.

Es conocido el principio físico según el cual, el agua presente en el suelo o aplicada mediante el riego, por su polarización, origina un medio que facilita el paso de la corriente eléctrica de tal manera que, a medida que aumenta el contenido hídrico, aumenta el número de unidades o moléculas polares. En cambio, cuando el contenido hídrico disminuye hay menos moléculas polares y el flujo de corriente eléctrica disminuye. En consecuencia, se deduce que una menor conductividad lleva aparejada una mayor resistividad al paso de la corriente eléctrica. Así mismo, una mayor o menor resistividad indica, a su vez, un mayor o menor contenido hídrico en el medio evaluado (Rhoades et al., 1976).

El paso de corriente eléctrica a través de rocas se debe a la presencia de minerales conductores, o a la existencia de soluciones iónicas en los espacios intersticiales (Benson et al. 1982).

La resistividad de los suelos, normalmente, disminuye cuando aumenta el contenido de agua o cuando aumenta el volumen de sólidos disueltos en el agua intersticial (Tabla 1). Los suelos arcillosos tienden a ser menos resistivos que sus equivalentes los arenosos, debido a cationes que pueden estar adsorbidos en la superficie de los cristales de arcilla, y que actúan como conductores de electricidad (Benson et al. 1982). El método eléctrico de resistividad permite definir los cambios en el contenido hídrico de los suelos (Gardner, 1986).

Los conceptos de resistividad y conductividad son multifuncionales y pueden ser afectados por otros aspectos, además del contenido hídrico, como son la alta salinidad

del medio (Shea y Luthin, 1961) o la temperatura y el tipo de material (Kean y Rogers, 1981).

Tabla 1. Resistividad de diferentes materiales y contenidos de humedad.

MATERIAL	RESISTIVIDAD (Ω . Cm)	Origen
Turba	4500-20000	Higgs
Jardín 50% húmedo	1400	Ruppel
Jardín 20% húmedo	4800	Ruppel
Arcilloso 40% húmedo	770	Ruppel
Arcilloso 20% húmedo	3300	Ruppel
Arcilla muy seca	5000- 15000	Ruppel
Arenoso 90% húmedo	13000	Ruppel
Arena humedad normal	300000- 800000	Ruppel

Fuente: THORN EMI Instruments Limited Earth Tester MEGGER

Conocer la forma y dimensiones del volumen de suelo húmedo es, por tanto, posible al utilizar una metodología basada en la mayor o menor resistencia (Ohmios, Ω) que ofrece un medio poroso al paso eléctrico (Gispert y García, 1997,1999)

La definición de la forma y dimensiones de este volumen también será más completa si, además, se evalúa el contenido de humedad presente en el mismo respecto al suelo, más seco, que le circunda. Es por ello que este trabajo amplía la información anterior en este aspecto y en la metodología ya divulgada por los mismos autores.

El conocimiento del contenido volumétrico de humedad en el suelo se ha basado en algunos trabajos publicados por Roth et al. (1992); Vhalley (1993); White et al. (1994) y otros que muestran una alta correlación, casi lineal, entre la raíz cuadrada de la constante dieléctrica ($\sqrt{\epsilon}$) y el contenido volumétrico de humedad (θ_v) en muchos suelos.

La evaluación del volumen de suelo húmedo siempre conlleva paralelamente a plantearse, a efectos de diseño correcto de instalaciones y manejo eficiente del agua, las siguientes cuestiones: ¿Hasta donde es posible reducir económicamente el volumen de suelo húmedo? o también, ¿Cuál es la función de producción de un cultivo respecto al volumen de suelo húmedo?

En este sentido, la información procedente de la investigación o de la experimentación sobre este aspecto agronómico del riego es muy limitada. Además, esa limitada información se refiere a superficie o área humedecida debajo del cultivo y, raras veces, se considera el alcance en profundidad del frente mojado ni, mucho menos, el volumen de suelo húmedo.

Si las raíces se desplazan por el suelo en busca de agua y nutrientes con avance tridimensional, explorando un volumen determinado de suelo, no es consecuente con este comportamiento el considerar una superficie húmeda como referencia sino un volumen húmedo. Máxime si tenemos en cuenta que a igualdad de radio o área mojada pueden corresponder volúmenes muy diferentes.

Un estudio realizado por Porras et al. (1988), sobre la influencia que la superficie de suelo regada tenía sobre el consumo de agua y la producción de plantones de olivo, indica que el diámetro del tronco es mayor cuando más

importante es el porcentaje de superficie de suelo que se moja.

En la mayoría de las zonas olivareras lo normal ha sido instalar escasos emisores o puntos de suministro de agua por árbol. Este hecho contrasta con la tendencia existente en fruticultura (20-30% de superficie húmeda) y por cuyo motivo Pastor et al. (1997) compararon el efecto sobre la producción de la aportación del agua con 2, 3, 4, 6 y 8 puntos de riego. Se observó en los años secos (1994 y 1995) un aumento sensible de la producción en la medida que aumentó el número de puntos de aplicación. En un año húmedo (1996) las producciones fueron similares en todas las tesis ensayadas.

Por los resultados obtenidos, puede observarse, la influencia que pueden tener sobre el comportamiento del olivo el solo hecho de variar su área húmeda, aunque mantengamos idéntica dosis de riego.

Una de las circunstancias más sorprendentes de todos estos trabajos es la falta de estudios que relacionen el volumen húmedo del suelo- no el área húmeda- con la respuesta del cultivo.

Intentando aportar una mayor información sobre este aspecto "olvidado" y como complemento aplicativo de la metodología indicada en la primera parte, sobre evaluación del volumen de suelo húmedo; en la parte final de este artículo se presenta un trabajo en el que se analiza la influencia que tiene el porcentaje de volumen de suelo húmedo sobre el comportamiento del olivar.

2. Material y métodos

2.1. Metodología para evaluar la forma y tamaño del volumen húmedo del suelo.

En el trabajo que se presenta se ha utilizado el 'Equipo Medidor del Volumen de Suelo Húmedo', en adelante EMVSH, que consta de los siguientes componentes fundamentales:

Electrodos de acero dulce, resistividad (ρ 20° C)= 10×10^{-8} Ω .m, coeficiente de variación (α) = 5×10^{-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 (2x25) de cobre ($\rho=1.7 \times 10^{-8}$ Ω .m, $\alpha=3.9 \times 10^{-3}$) de 4 m de longitud, acabado en un extremo en enchufe monofilar y en el otro en pinza monofilar de cocodrilo.

Multímetro analógico K- 1109, voltaje máximo de 12 V (CC) para margen de resistencia de $\times 10$ K Ω (escala $\times 1, \times 10, \times 1K, \times 10 K\Omega$).

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 aplicada consiste en introducir, verticalmente, un conjunto de electrodos dispuestos en posición transversal al volumen húmedo del suelo que; unidos mediante conducto bifilar a un multímetro; permite medir la resistencia al paso eléctrico entre dos de ellos consecutivos a diferentes profundidades. Un aumento significativo de resistencia indica la presencia de una zona de transición húmeda a seca y viceversa. La unión de todos aquellos valores de transición constituye el perímetro del frente de humedad sub-superficial presente en el perfil del suelo que, a su vez, encierra todo el volumen húmedo generado.

Asimismo se ha evaluado el contenido de agua en el suelo en aquellos puntos de lectura de resistencia al paso eléctrico, que complementa y completa la información recogida a lo largo del perfil del suelo, mejorando su caracterización hidrológica.

A tal efecto se utilizó el medidor de contenido volumétrico de humedad del suelo 'Theta- Probe Soilmoisture Sensor', que se basa en el reconocido método de cambios de respuesta en la constante dieléctrica aparente del suelo, según el grado de humedad presente. La utilización del mencionado medidor precisó de su calibración para el tipo de suelo específico de la parcela, para minimizar así los errores asociados con la conversión de la salida del Thetaprobe respecto al contenido de humedad del suelo (θ_v). Para realizar el calibrado se partió de la relación lineal que existe entre la raíz cuadrada de la constante dieléctrica del suelo ($\sqrt{\epsilon}$) y su contenido de humedad (θ_v), según la ecuación:

$$\sqrt{\epsilon} = a_0 + a_1 \theta_v, \text{ en donde}$$

$$\theta_v = \frac{\sqrt{\epsilon} - a_0}{a_1} \quad (1)$$

Mediante el Theta se conoce $\sqrt{\epsilon}$, por tanto, se determinaron los dos coeficientes (a_0 y a_1) característicos del suelo a evaluar.

El procedimiento seguido fue el siguiente:

- 1.-Lectura (V) con Theta-Probe (mV, milivoltios) de una muestra inalterada del suelo a diferentes profundidades (20,40 y 60 cm) y 3 observaciones por parcela.
- 2.-Cálculo de $\sqrt{\epsilon}$ en el estado natural del suelo al aplicar la correlación ya pre-establecida:

$$\sqrt{\epsilon} = 1.07 + 6.4 V - 6.4 V^2 + 4.7 V^3 \quad (2)$$

- 3.- Peso de la muestra (W) y medida de su volumen (L).

- 4.- Secado de la muestra y lectura (V_0) con Theta-Probe.

Cálculo del primer coeficiente (a_0):

$$\sqrt{\epsilon_0(a_0)} = 1.07 + 6.4 V_0 - 6.4 V_0^2 + 4.7 V_0^3$$

a_0 suele tener un valor entre 1.0 y 2.0.

5.- Peso de la muestra seca (W_0)

6.- Cálculo del contenido volumétrico de agua (θ_w) de la muestra original:

$$\theta_w = \frac{W - W_0}{L}$$

7.- Definición del segundo coeficiente (a_1):

$$a_1 = \frac{\sqrt{\epsilon} - \sqrt{\epsilon_0}}{\theta_w}$$

a_1 habitualmente tiene un valor entre 7.6 y 8.6.

8.-La sustitución en (1) de los valores de los coeficientes obtenidos en el suelo específico de la parcela dió, finalmente, la función polinómica cúbica de correlación entre el contenido de humedad del suelo (θ) y la lectura en potencial eléctrico (V) de lectura del Theta-Probe.

$$\theta = \frac{(1.07 + 6.4 V - 6.4 V^2 + 4.7 V^3) - a_0}{a_1}$$

Finalmente, mediante la utilización de Richard's Soilmoisture Equipment, se definió el contenido volumétrico de humedad del suelo a 20, 40, 60 cm de profundidad y 3 observaciones por parcela en el punto de Capacidad de Campo (CC) y de Marchitez Permanente (PM). Ello permitió conocer y situar, al inicio de la prueba, el estado de humedad del suelo.

Para la realización de la prueba se utilizó, sobre la misma parcela, un gotero autocompensante Netafim de 8 l/h, trabajando a presión nominal y 3 horas de riego.

Para un mayor rigor y seguridad en la localización, forma y tamaño del volumen húmedo, es aconsejable disponer de valores patrón referentes a resistencia eléctrica del suelo, en condiciones naturales y en varios puntos de la parcela, previas a la formación del volumen húmedo. También es imprescindible definir como referencia, en estos mismos puntos y a varias profundidades, el contenido volumétrico de humedad existente.

2.2. Influencia del porcentaje de volumen de suelo húmedo sobre el comportamiento del olivar.

Se estableció y se hizo el seguimiento de una experiencia de riego en olivo, en una parcela comercial de tipo semi-intensivo, ubicada en un medio edafo-climático y en unas condiciones de cultivo típicas de la zona.

Las características condicionantes de la experiencia fueron las siguientes:

- Municipio: Vinyols i els Arcs
- Comarca: Baix Camp (Tarragona)
- Cultivo: Olivo
- Variedad: Arbequina

- Marco de plantación: 8 x 4
- Año de plantación: 1991
- Superficie experimental: 0.40 ha
- Sistema de riego: RLAf (goteo)
- Gotero: Netafim 8l/h ; 3 horas / riego
- Período experimental : 1998 a 2001 (4)
- Porcentaje de área sombreada: 41% del marco
- Suelo: Muy homogéneo. Textura F-Ac-Ar. Básico (pH=8.05). No salino (CE= 0.18 dS/m). Escasa materia orgánica (1.02% a 20 cm). Caliza activa inapreciable.

Se estableció como referencia un 'Volumen Potencial de Exploración Radicular' (V_{per}) como aquel constituido por un cilindro de suelo, debajo del cultivo, cuya base era la proyección de la copa (πR^2) y cuya altura (H) la profundidad estimada de las raíces.

Tratamientos por árbol

- T₁: 1 gotero/árbol
- T₂: 2 goteros/árbol
- T₃: 3 goteros/árbol
- T₄: 4 goteros/árbol
- T₅: 5 goteros/árbol

Diseño estadístico:

Bloques al azar, con 4 repet., 5 tratamientos y 4 observaciones por repetición y tratamiento.

3. Resultados y discusión

3.1. Evaluación del volumen de suelo húmedo en micro-irrigación.

La definición de la forma y tamaño del volumen de suelo húmedo será poco informativo y de poco podrá servir, como dato de referencia, para el diseño del sistema de riego y uso eficiente del agua sin indicar en que estado hídrico se hallaba el suelo antes de la formación del propio volumen húmedo.

Por tanto, en primer lugar, se efectuó la caracterización hidrológica del suelo y subsuelo de la parcela que en contenido volumétrico de agua y en el estado de Capacidad de Campo (CC) dio un contenido del 21%, mientras que en el punto de Marchitez Permanente (PM) su contenido fue del 11%. Asimismo, se evaluó el estado hídrico inicial del suelo, a profundidades regulares de 20 cm obteniéndose, en 3 observaciones aleatorizadas, un contenido muy similar al de marchitez (12%).

Asimismo se determinaron las ecuaciones polinómicas cúbicas que relacionan el contenido volumétrico de agua desde un sensor/lector Theta-Probe calibrado (Tabla 2). Mediante la utilización del EMVHS y las lecturas de resistencia al paso eléctrico (Ohmios) se fue definiendo la forma y características del volumen de suelo húmedo. Paralelamente y en diversas observaciones de la misma evaluación se hicieron lecturas de contenido volumétrico

de agua (%) mediante Theta-Probe. Ello permitió establecer un estudio de correlación (Figura 1) entre contenido de humedad del suelo (%) y resistencia al paso eléctrico del mismo (Ohmios).

Tabla 2. Ecuaciones que relacionan el contenido volumétrico de agua desde un sensor/ lector calibrado Theta-Probe, para horizontes regulares de 20 cm de suelo (Θ en m^3 de agua/ m^3 de suelo y V en voltios).

Horizonte 0-20 cm	$\Theta = 0.540 V^3 - 0.736V^2 + 0.736V - 0.042$
Horizonte 20-40 cm	$\Theta = 0.553 V^3 - 0.753V^2 + 0.753V - 0.045$
Horizonte 40-60 cm	$\Theta = 0.565 V^3 - 0.770V^2 + 0.770V - 0.050$

Origen: Elaboración propia. Parcela experimental olivo (Vinyols i els Arcs)

La Figura indica que una mayor resistencia implica un menor contenido de humedad y viceversa, aspecto que coincide con el trabajo de Rhoades et al. (1976).

Al igual que indicó Gardner (1986), la utilización de la función, en base a las lecturas de resistencia, puede permitir estimar el contenido de humedad en el punto de observación. Ello permite llevar a cabo otras diversas aplicaciones (programación de riego, diseño, caracterización edafológica, etc)

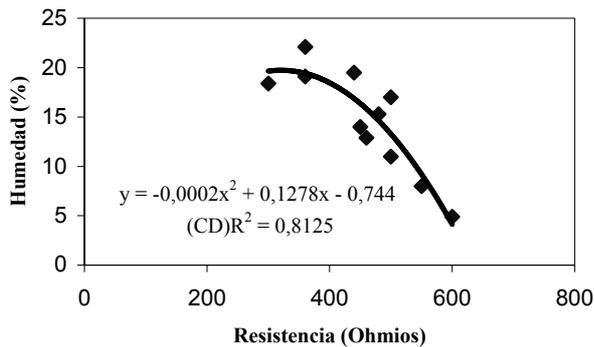


Fig. 1. Correlación entre humedad (%) y Resistencia (Ohmios) del volumen de suelo húmedo.

Hay una correlación altamente significativa y negativa ($R=-0.901$) entre la resistencia (Ω) al paso eléctrico del suelo y su contenido de humedad (%).

Es conveniente hacer notar que la evaluación del VSH se llevó a cabo después de transcurridas 24 horas después del riego, para favorecer la redistribución del agua a lo largo del perfil del suelo.

Los valores de resistencia y contenido de humedad fueron diversos dentro de cada parámetro y en los distintos puntos observados, hecho por otro lado bastante lógico en un medio anisotrópico como el suelo.

Sin embargo, es conveniente hacer notar el mayor porcentaje de agua detectado a lo largo del eje vertical central del VSH. En algunos puntos más próximos al emisor se alcanzó, incluso, el estado de saturación (29.5%) a unos 10 cm de profundidad.

Asimismo, a unos 30 cm, donde habitualmente se sitúan las raíces absorbentes más activas, el contenido de humedad osciló alrededor del 21% (CC).

A mayor profundidad, los contenidos de humedad, fueron haciéndose más reducidos hasta alcanzar al frente de transición o de humedad que separa el VSH del suelo seco.

Las características del volumen de suelo húmedo generado mediante un gotero de 8l/ h, durante un tiempo de riego de 3 horas, en un suelo ya definido, correspondiente a la parcela experimental de olivo en el municipio de Vinyols i els Arcs, fueron las siguientes:

- Profundidad mojada: 60 cm
- Radio mojado a 30 cm de profundidad: 60 cm
- Capacidad del VSH generado: 0.452 m^3
- Estimación de su contenido de agua: 78 litros en el VSH

En la Figura 2, puede observarse la forma elipsoide que adopta el volumen de suelo húmedo y el predominio del desplazamiento horizontal respecto al vertical de su frente de humedad. Prueba inequívoca de que el caudal suministrado de 8 l/h, durante 3 horas de riego, supera la velocidad de infiltración del propio suelo. Aspecto este ya presentado en trabajos anteriores de Gispert y García (1994, 1997 y 1999). La profundidad mojada, de unos 60 cm, se considera suficiente para el alcance habitual subterráneo de las raíces más activas y principales del olivar.

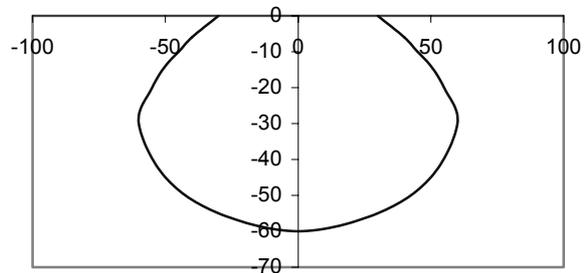


Fig. 2. Sección vertical del volumen de suelo húmedo (VSH). Medidas en cm.

3.2. Influencia del porcentaje de VSH sobre el comportamiento del olivo.

En base a la evaluación precedente y los condicionantes de la propia parcela de olivo, los valores porcentuales de ocupación volumétrica de suelo húmedo, por árbol y tratamiento fueron los siguientes:

$$V_{per} = \pi r^2 h = 4.24 m^3$$

- T_1 : 0,452 m^3 (11% de V_{per})
- T_2 : 0,904 m^3 (21% de V_{per})
- T_3 : 1,356 m^3 (32 % de V_{per})

- T₄: 1,808 m³ (43 % de V_{per})
- T₅: 2.26 m³ (53 % de V_{per})

A partir de este planteamiento experimental y en función de las necesidades evapotranspirativas semanales del cultivo, así como de las aportaciones pluviométricas correspondientes; se hizo la programación de riego durante cada campaña y durante un periodo de 4 años. La dosis de riego medio aportado durante el periodo experimental fue de 5800 l/ árbol y campaña (1809600 l/ha).

Para mantener una dosis semanal de riego, idéntica en todos los tratamientos, se estableció una frecuencia de aplicación variable y distinta para cada tratamiento y, así, se compensó la diferente dotación aportada por cada uno de ellos.

Se llevaron a cabo diversos controles, algunos de los cuales se presentan a continuación. Su finalidad era hallar la influencia que podía tener el porcentaje de VSH sobre algunos parámetros productivos del olivar.

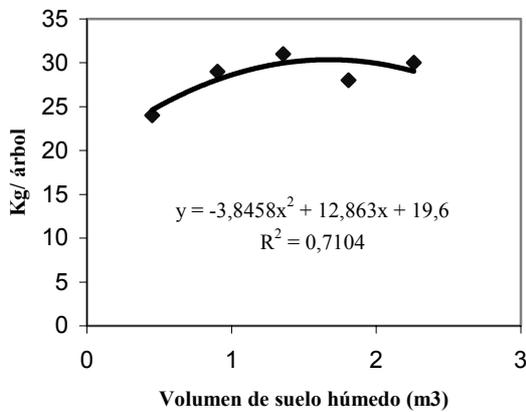


Fig. 3. Producción en función del VSH (1)

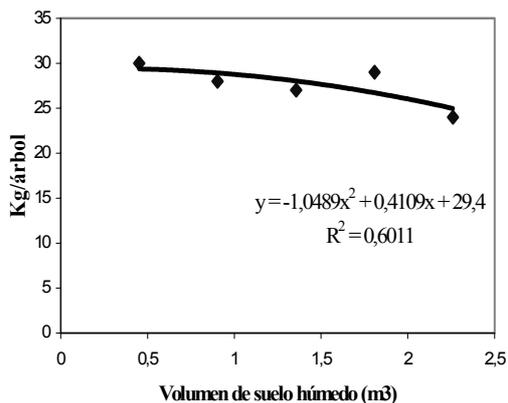


Fig. 4. Producción en función del VSH (2)

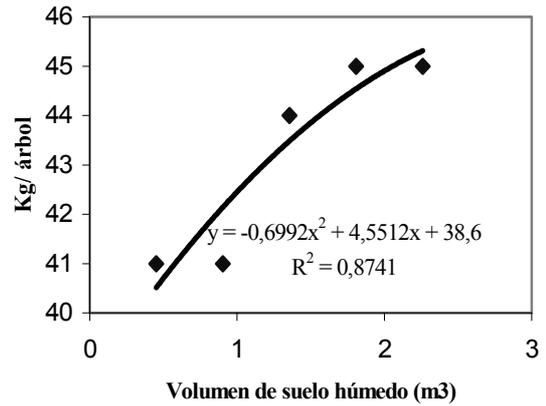


Fig. 5. Producción en función del VSH (3)

Las Figuras 3, 4 y 5, correspondientes a 3 años de observación, permiten apreciar un incremento progresivo y en el último año, significativo para $\alpha=0.05$, de la producción respecto al VSH. Ello indica el nivel creciente de influencia que este VSH va teniendo sobre el entorno al ir adaptándose, progresivamente, la distribución radicular al VSH generado. Este aspecto observado en el presente trabajo coincide con los estudios de Black y Michell (1974) y los Willoughby y Cockroft (1974).

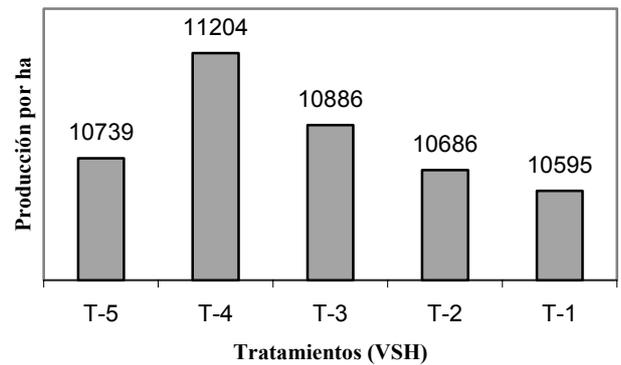


Fig. 6. Producción media (Kg/ha) según el VSH (m3)

La Figura 6 indica la tendencia en la disminución de la cosecha a medida que se reduce el VSH, obteniéndose la mayor producción cuando este ocupa el 43% del V_{per}. Las diferencias entre tratamientos, sin embargo, no fueron significativas. En este punto y para finalizar, la misma Figura 6 indica una diferencia de producción entre el tratamiento más favorable (43% V_{per}) y el más desfavorable (11% V_{per}) de unos 600 kg/ ha, en las condiciones edafo-climáticas y culturales ya indicadas, solo variando el porcentaje de VSH y manteniendo idéntica dosis de riego.

Agradecimientos. El autor quiere hacer llegar su agradecimiento al Dr. Joan Girona Gomis, responsable y coordinador del Proyecto de la CICYT, gracias al cual ha sido posible la financiación necesaria para desarrollar este trabajo. También al técnico especialista y compañero del IRTA, D. José García Fábrega por su colaboración en todos los trabajos y controles de campo en la parcela experimental. A D. Andrés Dalmau Martí por facilitar el acceso y colaboración en su finca de olivar.

Referencias

- Atkinson, D.(1980). The effect of trickle irrigation on the distribution of root growth and activity in fruit trees. No publicado.
- Benson, R., Glaccum, R.A. y Noel, M.R. (1982). Geophysical Techniques for Sensing Buried fustes and Waste Migration.Dublín, National Ground Water Association. 236 p.
- Black, J.D.F. y Mitchell, P.D. (1974). Changes in root distribution of mature pear trees. II International Drip Irrigation Proceedings. California.USA.437- 438.
- Bresler, E. (1977). Trickle-drip irrigation: principles and application to soil- water management. *Advances in Agronomy*, 29.USA.344-393.
- Bresler, E. (1978). Analysis of trickle irrigation of application to design problems. *Irrigation Science* 1(1). USA 3- 17
- Farshi, A.A.S. (1979). Soil moisture pattern from point source. Symposium on water Suplí and Irrigation. *Acta Horticulturae*.USA.89. 33-35.
- Gardner, W.H. (1986). ‘Water content’ *Methods of Soil Análisis*, Part 1 (Klute, A.Ed). American Society of Agronomy.
- Gispert, J.R., García, J.A. (1994). El volumen húmedo del suelo. Aspectos agronómicos relacionados con la microirrigación (a). *Riegos y drenajes XXI/76*, 26-33.
- Gispert, J.R., García, J.A. (1994). El volumen húmedo del suelo. Aspectos agronómicos relacionados con la microirrigación (b). *Riegos y drenajes XXI/77*, 16-28.
- Gispert, J.R., García, J.A.(1997). El volum humit del sòl. Importancia i característiques. Aplicació pràctica a la zona regable de “Les Garrigues” (Àrea de Flix- Bovera).FIT. DARP. Sèrie 1. Full 1/1.
- Gispert, J.R., García, J.A. (1999). El volumen húmedo del suelo en el riego localizado. Importancia y evaluación. IV Jornadas de Investigación en la Zona No Saturada. ICIA.
- Goldberg, D., Gornad, B. Y Rimon, D. (1976). *Drip Irrigation*. Scientific Publications. Israel. 296 p.
- Goode, J.E., Higgs, K.H. y Hyricz, K.J. (1978). Trickle irrigation of apple tree and the effects of liquid feeding with NO₃ and K⁺ compared with normal manuring. *J.Hort.Sci.* 53. USA. 307-316.
- Kean, W.F. y Rogers, R.B. (1981). Monitoring leachate in ground water by corrected resistivity methods. *Bulletin of the association of Engineering Geologists*. 101-107.
- Levin, I., Assaf, R. Y Bravdo, B. (1979) . Soil moisture and root distribution in an apple orchard irrigated by tricklers. *Plant and soil*, 52. USA. 31-40.
- Levin, I., Assaf, R. Y Bravdo, B. (1980). Irrigation, water status and nutrient uptake in an apple orchard. D. Atkinson (edits). *Mineral nutrition of Fruit Trees*. Butterworth. London.
- Pastor, M. et al. (1997). Programación del riego en olivares de la provincia de Jaen. *Riegos y drenajes XXI*, 103. 43-53.
- Porras, A., Arnal, J. y Muñoz, F. (1988). Influencia de la superficie de suelo regada sobre el consumo de agua y producción de plantones de olivo. Un sistema electrónico de automatización y control de riego. *Fruticultura Profesional*, 17. 51-62.
- Rhoades, J.D., Rats. P.A.C. y Prather, R.J. (1976). Effects of liquid phase electrical conductivity, water content, and surface conductivity on bulk soil electrical conductivity. *Soil Sci.Soc.Am.J.* 651- 655.
- Roth, R.L. (1974). Soil moisture distribution and wetting pattern from a point source. II *Internat. Drip Irrigation Congress Proceeding*. California, USA. 246- 251.
- Roth, C.H., Malicki, M.A. y Plagge, R . (1992). Empirical evaluation of the relationship between soil dielectric constant and volumetric water content as the basis for calibrating soil moisture easurements. *Journal of Soil Sci.* 43, 1-13.
- Shea, Shea, P.F. , Luthin, J.N. (1961). An investigation of the use of the four electrode probe for measuring soil salinity in situ. *Soil Sci.Soc.Am.* J.331- 339.
- Stevenson, K.S., Tait, R.S. (1974). Edaphic microtubular continous flow irrigation in Canada W.II *Internat. Drip Irrigation Congress Proceeding*. California. USA. 86- 90
- Whalley, W.R. (1993). Considerations on the use of time-domain reflectometry (TDR) for measuring soil moisture content. *Journal of soil Sci.* 44, 1-9.
- White, I., Knight, J.H, Zegelin, S.J y Topp, G.C. (1994).Comments on “Considerations on the use of time-domain reflectometry (TDR) for measuring soil water content” by W.R. Whalley. *Journal Soil Sci.* 45, 503-508.
- Willoughb, Y.B. y Cockroft, B. (1974). Change in root patterns of peach trees under trickle irrigation. II *International Drip Irrigation Congress Proceeding*. California. USA. 439-442.

