

Anejo 9:

**Diseño agronómico.**

---

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>4</b>
<b>2. NECESIDADES HÍDRICAS</b>	<b>4</b>
<b>3. CÁLCULO DE LAS NECESIDADES DE AGUA PARA EL RIEGO</b>	<b>8</b>
3.1. Necesidades netas	8
3.2. Necesidades totales	8
<b>4. DOSIS, FRECUENCIA Y TIEMPO DE RIEGOS MÁXIMOS</b>	<b>10</b>
4.1. Dosis y tiempo de riego	11
4.2. Cálculo del caudal	12
<b>5. PROGRAMA DE RIEGOS</b>	<b>12</b>
<b>6. DOCUMENTACIÓN CONSULTADA</b>	<b>13</b>
6.1. Bibliografía	13

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. ETo mensual</i> _____	4
<i>Tabla 2. Kc mensual</i> _____	5
<i>Tabla 3. ETc diarias y mensuales</i> _____	6
<i>Tabla 4. Necesidades totales</i> _____	9
<i>Tabla 5. Calendario de riegos</i> _____	13

## 1. INTRODUCCIÓN

La vid se ha cultivado tradicionalmente en condiciones de secano. Es un cultivo bien adaptado a los secanos mediterráneos, con producciones aceptables y capaz de sobrevivir a períodos de intensa sequía. Sin embargo, desde hace poco tiempo se ha comprobado experimentalmente que la práctica del riego aumenta considerablemente el rendimiento del viñedo, incluso cuando las aportaciones del agua son muy reducidas.

Tanto a la hora de planificar la transformación de un viñedo de secano a regadío, como el momento de aplicar los riegos, se plantean una serie de interrogantes que deben ser contestados como requisito previo a la definición de estrategias óptimas de riego.

Hay que tener en cuenta, para realizar una correcta programación del riego, que la vid presenta una sensibilidad al déficit hídrico variable en el tiempo. En el presente proyecto se va a utilizar el suelo como un almacén de agua en el que se aumentará su nivel en períodos de máxima demanda, coincidiendo con los mínimos de precipitación, y se dejará que disminuya en el período de las lluvias otoñales. De esta manera, el suelo las almacenará, disminuyéndose por tanto las pérdidas por percolación y escorrentía, lo cual también arrastraría el abonado.

## 2. NECESIDADES HÍDRICAS

En condiciones potenciales, la producción de biomasa es directamente proporcional a la radiación interceptada por la superficie verde del cultivo. Cuando los estomas de las hojas están abiertos para permitir la entrada del CO<sub>2</sub> atmosférico, el vapor de agua que está saturando los espacios intercelulares de las hojas se pierde a la atmósfera siguiendo un gradiente de presión de vapor. Esta pérdida de agua, conocida como transpiración, es el coste que debe pagar el cultivo para producir biomasa, y debe ser repuesta a los tejidos mediante la extracción del suelo por el sistema radical. Por tanto, si queremos alcanzar la máxima producción, debemos asegurarnos de que el contenido de agua del suelo sea suficiente para que el cultivo pueda extraer toda la que la atmósfera le demanda. Esta cantidad de agua, unida a la que se pierde por evaporación desde la superficie del suelo, constituye lo que se conoce como *evapotranspiración máxima del cultivo* (ET<sub>c</sub>); y debe ser satisfecha estacionalmente mediante lluvia y/o riego para que la producción del cultivo no se vea reducida como consecuencia de un déficit hídrico.

El método más utilizado para determinar la *evapotranspiración del cultivo* (ET<sub>c</sub>) es el recomendado por la FAO (Doorembos y Pruitt, 1977), en el que la ET<sub>c</sub> se calcula como el producto de tres términos:

$$ET_c = ET_o \times K_c \times K_r \times K_{may} \times K_{ad}$$

Siendo:

$ET_0$ : *evapotranspiración de referencia* que cuantifica la demanda evaporativa de la atmósfera y corresponde a la evapotranspiración de una pradera de gramíneas con una altura entre 8 - 10 cm que crece sin limitaciones de agua y nutrientes en el suelo y sin incidencia de plagas y/o enfermedades.

Para el cálculo de la  $ET_0$  puede utilizarse la expresión de *Hargreaves*, que únicamente requiere los datos de la temperatura y la radiación extraterrestre:

$$ET_0 = 0,0023 \times R_a \times (T_m + 17,8) \times (T_{max} - T_{min})^{1/2}$$

Donde:

$ET_0$ : evapotranspiración de referencia medida en  $mm \times día^{-1}$

$T_{max}$ ,  $T_{min}$  y  $T_m$  son las temperaturas medias (°C) de las máximas, las mínimas y las medias durante el período considerado

$R_a$ : es la radiación extraterrestre, expresada en  $mm/día$  que para los distintos meses y longitudes toma diferentes valores

En nuestro caso, los datos necesarios para aplicar la expresión de Hargreaves y el valor de  $ET_0$  mensual obtenida se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 1.  $ET_0$  mensual.**

	<b>T máxima</b>	<b>T mínima</b>	<b>T media</b>	<b>Radiación</b>	<b><math>ET_0</math></b>
<b>ENERO</b>	17,70	1,30	9,00	6,83	1,70
<b>FEBRERO</b>	18,30	1,80	10,10	8,93	2,32
<b>MARZO</b>	22,10	4,10	12,60	11,73	3,47
<b>ABRIL</b>	22,40	6,00	13,90	14,4	4,25
<b>MAYO</b>	25,60	6,90	16,20	16,23	5,48
<b>JUNIO</b>	29,40	11,0	19,70	17	6,28
<b>JULIO</b>	34,80	15,1	24,70	16,62	7,21
<b>AGOSTO</b>	34,80	17,0	26,10	15,14	6,44
<b>SEPTIEMBRE</b>	32,10	10,7	20,40	12,78	5,19
<b>OCTUBRE</b>	29,90	7,50	15,90	9,96	3,65
<b>NOVIEMBRE</b>	25,40	4,60	11,80	7,46	2,31
<b>DICIEMBRE</b>	17,10	2,20	9,40	6,23	1,50

$K_c$ : se trata del *coeficiente de cultivo*, que expresa la relación entre la evapotranspiración de un cultivo que cubre completamente el suelo y la  $ET_0$ , y debe ser determinado experimentalmente. En la vid, puede tomar valores comprendidos entre 0,5 y 0,7 para los diferentes meses del año, tomando valores máximos en verano y valores mínimos en invierno.

Los valores de  $K_c$  para cada uno de los meses del año son:

**Tabla 2.  $K_c$  mensual.**

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0,5	0,5	0,55	0,60	0,65	0,65	0,7	0,7	0,65	0,60	0,55	0,5

$K_r$ : se trata del *coeficiente de reducción*, que expresa el efecto del estado de desarrollo al cultivo (superficie cubierta por la copa), que toma valores comprendidos entre poco más de cero para vid en reposo vegetativo hasta poco más de 0,3 para vid adulta en producción en condiciones de riego. Este corrige la Evapotranspiración del cultivo por el llamado “efecto de localización”. Es lógico pensar que el marco de plantación influye en la Evapotranspiración del cultivo, ya que, a efectos de Evapotranspiración, el área sombreada se comporta de manera casi igual que la superficie del suelo en riegos no localizados, mientras que el área no sombreada elimina el agua con una intensidad mucho menor. Esta reducción de las pérdidas de agua por evaporación desde el suelo con respecto a los sistemas tradicionales de riego de la vid, es quizá una de las características más importante de los riegos por goteo.

El coeficiente reductor podría determinarse de forma aproximada utilizando la relación que Fereres *et al.* (1981):

$$K_r = 2 \times \frac{S_c}{100}$$

Donde:  $S_c$  (superficie cubierta) es el % de suelo sombreado por las hojas de la vid al mediodía, y se calcula en función del diámetro medio de la copa de las vides de la plantación a regar ( $D$  en metros) y de la densidad en plantación  $N$  (plantas/ha), aplicando la expresión:

$$S_c = \frac{\pi \times D^2 \times N}{400}$$

Es obvio que la  $ET_c$  de la depende significativamente del marco de plantación y de la práctica de poda.

En nuestro caso, con una densidad de 3030 olivos/ha, cuyo diámetro de copa para estas plantaciones es de 0.80 m (como diámetro medio óptimo para la producción de una vid adulta), por tanto, esto nos da una superficie cubierta de:

$$S_c = \frac{\pi \times (1)^2 \times 3030}{400} = 23,7\%$$

Obteniendo así un Coeficiente de reducción  $K_r$ :

$$K_r = 2 \times \frac{23,7}{100} = 0,48$$

Coeficiente de mayoración ( $K_{may}$ ): se trata del *coeficiente de mayoración* de la de la Evapotranspiración del cultivo. Con el se tiene en cuenta que el valor de  $ET_o$  utilizado es un valor medio, sometido a una variación estacional y por tanto, la posibilidad de infraestimar la  $ET_c$ . Los valores para  $K_{may}$  suelen variar entre 1,15 y 1,2 (Pizarro, 1996). Para el proyecto que nos ocupa, utilizaremos un valor de 1,16.

Corrección por advección ( $K_{ad}$ ): el valor a aplicar dependerá del tamaño de la zona a regar. En nuestro caso, adoptaremos un factor de corrección de 0,5.

Una vez calculados los valores de  $ET_o$ ,  $K_c$ ,  $K_r$ ,  $K_{may}$  y  $K_{ad}$ , se estiman los valores de  $ET_c$  (diaria) y  $ET_c$  (mensual), según la expresión dada al principio de este apartado. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 3.  $ET_c$  diaria y mensual.**

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
$ET_o$ (mm/día)	1,70	2,32	3,47	4,25	5,48	6,28	7,21	6,44	5,19	3,65	2,31	1,50
$K_c$	0,5	0,5	0,55	0,6	0,65	0,65	0,7	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5
$K_r$	0,3			0,4			0,48	0,45		0,3		
$K_{may}$	1,16											
$K_{ad}$	0,75											
$ET_c$ (mm/día)	0,22	0,3	0,5	0,5	1,23	1,42	2,11	1,82	1,32	0,71	0,33	0,2
$ET_c$ (mm/mes)	6,82	8,4	15,5	15	38,13	42,6	65,41	56,42	39,6	22,01	9,9	6,2

Estos valores de  $ET_c$  se han calculado para el caso de vides adultas en plena producción, es decir, en nuestro caso, a partir del tercer o cuarto año de vida de la plantación. En los años anteriores, las variaciones que puedan haber como la disminución del tamaño de la copa y el aumento de la zona no sombreada, el que el cultivo necesite quizás menos agua que cuando está en plena producción, etc.... no producen diferencias importantes. Por consiguiente, tomaremos estos valores como definitivos para los siguientes cálculos de necesidades hídricas.

### 3. CÁLCULO DE LAS NECESIDADES DE AGUA PARA EL RIEGO

#### 3.1. Necesidades netas

Las necesidades netas de riego se calculan según la expresión:

$$N_n = E_{Trl} - P_e - G_w - \Delta w$$

En el caso que nos ocupa el mes de máximas necesidades hídricas en base a la cual se diseñará la red de riego, es Julio con  $2,11 \text{ mm} \times \text{día}^{-1}$ , y aunque se produzca una cierta lluvia que da lugar a una precipitación efectiva ( $P_e$ ), ésta no debe tenerse en cuenta. En cuanto al aporte capilar ( $G_w$ ) no es importante en nuestro caso, y puede ser despreciado. Ya que el aporte por este concepto será mínimo. La variación de almacenamiento de agua del suelo ( $\Delta w$ ) generalmente no se debe tener en cuenta para el cálculo de las necesidades punta. Los riegos localizados de alta frecuencia pretenden mantener próximo a cero el potencial hídrico del suelo, consiguiéndolo al reponer con alta frecuencia del agua extraída.

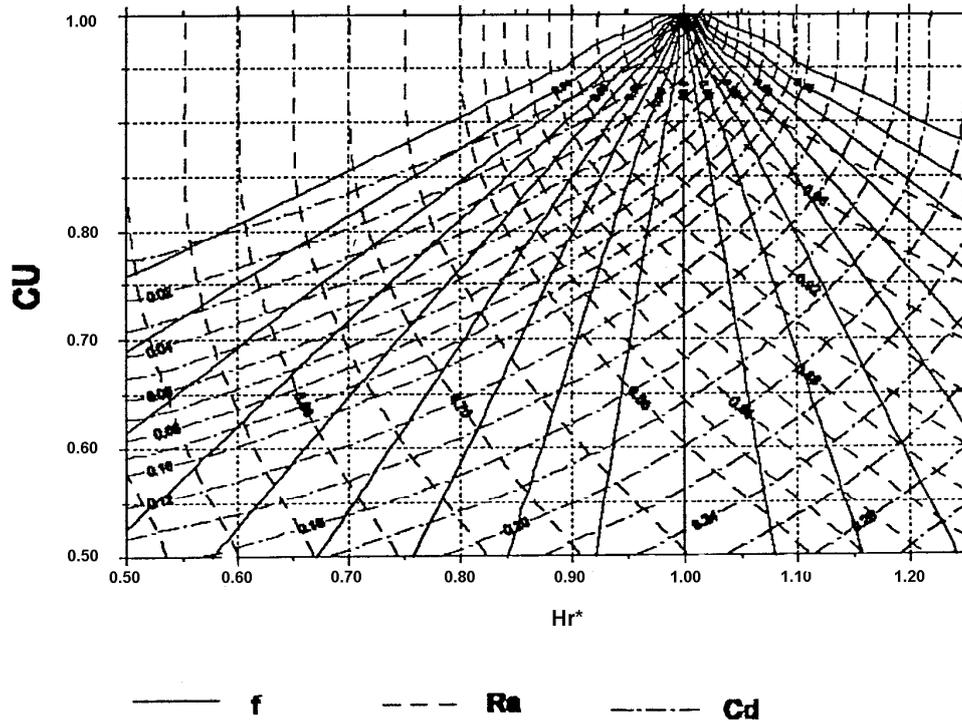
Es por ello que en este caso las necesidades netas para el mes de máximas necesidades coincidirán con la Evapotranspiración del cultivo, siendo por tanto  $2,11 \text{ mm/día}^{-1}$ .

#### 3.2. Necesidades totales

Para el cálculo de las necesidades brutas de riego se deben tener en cuenta tres factores: **el rendimiento de aplicación ( $R_a$ )**, **el coeficiente de uniformidad del riego (C.U.)** y **la fracción de lavado (FL)**. En climas áridos y para suelos de textura franca y una profundidad de raíces entre 0,75 y 1,5 m el  $R_a$  debe ser 0,95 (Keller, 1974). Como el sistema de riego empleado, es el riego por goteo, se exige del mismo una buena uniformidad en la distribución del agua. Es por ello que el coeficiente de uniformidad que se desea obtener en el riego es del 95 %. Por su parte, la fracción de lavado, ya calculada en el anejo correspondiente, es del 4,79 %.

Se ha supuesto que la aplicación del agua con este sistema de riego sigue una distribución normal por lo que se ha utilizado un diagrama de operación que relaciona el C.U. y el  $R_a$ , (Reca, 1999).

Una vez fijados tanto el C.U. como el  $R_a$ , vemos donde se cruzan. Luego siguiendo en sentido descendente el eje "Y", vemos donde se corta con el eje "X", obteniéndose el valor de  $N_r^*$ , que establece las necesidades brutas ( $N_b$ ) y las necesidades netas ( $N_n$ ).



Siguiendo el diagrama de operación adjunto, para un C.U. del 95 % y para un  $R_a$  del 95 % se obtiene un  $N_r^*$  igual a 0,96. Debe hacerse notar que se producirá un déficit del 1 %, es decir, que únicamente un 1 % de la superficie será regada con una cantidad inferior a la requerida.

Una vez obtenido el valor de  $N_r^*$  se calculan las necesidades brutas de agua ( $N_b$ ) precisas para que se den estas dos circunstancias en el riego.

$$N_r^* = \frac{N_n}{N_b} \rightarrow N_b = \frac{N_n}{N_r^*} = \frac{2,11}{0,96} = 2,2 \text{ mm} \times \text{día}^{-1}$$

Para regar con un coeficiente de uniformidad del 95 % y consiguiendo un rendimiento en la aplicación del 95 % sería necesario aplicar 2,2 mm de agua al día.

Pero además de estos dos factores también debe tenerse en cuenta la fracción de lavado. Existe también una relación entre las necesidades netas de agua, las necesidades brutas de agua a aplicar en el riego (Necesidades totales) y la fracción de lavado:

$$N_t = \frac{N_b}{1 - F_L} = \frac{2,2}{1 - 0,0479} = 2,31 \text{ mm} \times \text{día}^{-1}$$

A tenor de los resultados obtenidos se va a optar por aplicar 2,31 mm de agua al día, ya que así se garantiza un buen lavado de sales y por supuesto la uniformidad y el rendimiento que se esperaba en el riego.

Esto supone una cantidad por planta de:

$$2,31 \text{ (mm/día)} \times 3,3 \text{ (m}^2\text{/planta)} = 7,62 \text{ (L/planta x día)}$$

Realizando los mismos cálculos para el resto de los meses obtenemos unas necesidades de:

**Tabla 4. Necesidades totales.**

	<b>Necesidades brutas (mm/día)</b>	<b>Necesidades totales (mm/día)</b>	<b>Necesidades totales (L/planta x día)</b>
<b>ENERO</b>	0,23	0,24	0,79
<b>FEBRERO</b>	0,31	0,33	1,08
<b>MARZO</b>	0,52	0,55	1,81
<b>ABRIL</b>	0,52	0,55	1,81
<b>MAYO</b>	1,28	1,35	4,44
<b>JUNIO</b>	1,48	1,55	5,13
<b>JULIO</b>	<u>2,2</u>	<u>2,31</u>	<u>7,62</u>
<b>AGOSTO</b>	1,9	1,99	6,57
<b>SEPTIEMBRE</b>	1,38	1,44	4,77
<b>OCTUBRE</b>	0,74	0,78	2,56
<b>NOVIEMBRE</b>	0,34	0,36	1,19
<b>DICIEMBRE</b>	0,21	0,22	0,72

#### **4. DOSIS, FRECUENCIA Y TIEMPO DE RIEGO MÁXIMOS**

Una vez calculadas las necesidades totales de agua en el mes de máximas se deben determinar los parámetros que van a condicionar de diseño del sistema de riego.

El primer aspecto a fijar es el número de emisores por planta que se van a poner. El número de emisores que se pongan determinará una característica agronómica del riego por goteo muy importante: el porcentaje de superficie mojada por el emisor. Kéller recomienda para plantas en clima árido un valor mínimo del 33 % del área sombreada y un 20 % para condiciones húmedas.

El método más adecuado para conocer el área realmente mojada por el emisor más adecuado es la realización de ensayos de campo, pero en este caso y dada la dificultad, se ha optado por seguir tablas diseñadas con esa finalidad, aún sabiendo que

los resultados obtenidos no serán nunca tan exactos como los obtenidos al realizar los ensayos en el propio terreno.

Para regar las vides de la finca se utilizarán goteros que suministran un caudal de  $4 \text{ L} \times \text{h}^{-1}$ . Así que siguiendo las indicaciones de Gispert y García (1996), para un emisor de este caudal, para una profundidad media de las raíces de 40 cm y para una textura media del suelo (suelo franco), el diámetro mojado por este emisor es de 1,25 m.

A partir del diámetro mojado por el emisor puede obtenerse el área mojada por dicho emisor ( $A_e$ ):

$$A_e = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{\pi \times 1,25^2}{4} = 1,23 \text{ m}^2 \times \text{emisor}^{-1}$$

Una vez obtenida el área mojada por el gotero, se calcula el número de goteros que debe haber por planta mediante la expresión siguiente:

$$e \geq \frac{Sp \times P}{100 \times A_e} = \frac{3,3 \times 30}{100 \times 1,23} = 0,8 \text{ emisores / planta}$$

Siendo  $Sp$  el área que le corresponde a cada planta ( $\text{m}^2 \times \text{árbol}^{-1}$ ) y  $P$  el porcentaje de superficie mojada ( $\text{m}^2$ ).

$$Sp = 1,5 \times 2,2 = 3,3 \text{ m}^2$$

El valor obtenido dice que se necesitan 0,8 emisores por planta. Esto quiere decir que tendremos que redondear e instalar **1 emisor por planta de vid**.

#### 4.1. Dosis y Tiempo de riego

La dosis de riego se calcula mediante la fórmula:

$$D = Nt \times I$$

Siendo  $I$ , el intervalo de riego, que se puede establecer entre 1 y 4 días; y  $D$  es la dosis de riego en litros/planta y día.

Y el tiempo de riego, se obtiene de la siguiente forma:

$$t = \frac{D}{e \cdot q_a} = \frac{7,62}{1 \cdot 4} = 1,91 \text{ horas}$$

Siendo:

$t$  = tiempo del riego

$q_a$  =caudal del emisor (4 L/h)

$e$  = número de emisores por planta (1)

$D$  = dosis de riego (7,62 L/planta.día en el caso de Julio)

Se escoge la opción de regar todos los días, lo que supone un volumen de riego de 7,62 litros por planta y día a repartir en 1 hora y 54,6 minutos.

#### 4.2. Cálculo del caudal

##### Caudal ficticio continuo

El mes de máxima necesidad es Julio con 7,62 L/planta.día. El agua aplicada en dicho mes será:

$$3030 \text{ plantas/ha} \times 3.5123 \text{ ha} = 10.642 \text{ plantas.}$$

$$10.642 \text{ plantas} \times 7,62 \text{ (L/planta.día)} \times 31 \text{ (días/mes)} = 2.513.853,24 \text{ L/mes} =$$

$$2.513,85 \text{ m}^3/\text{mes}$$

Por tanto, el caudal continuo será:

$$C_c = 2.513.853,24 \text{ (L/mes)} \times (1\text{mes}/31 \text{ días}) \times (1\text{día}/24 \text{ horas}) \times (1 \text{ hora}/3600 \text{ s}) \\ = 0,94 \text{ L/segundo.}$$

## 5. PROGRAMA DE RIEGOS

El propósito de establecer un calendario de riegos, es para asegurarnos de que todos los días se cubran las necesidades hídricas del cultivo y también con vistas a dejarlo automatizado.

Como hemos indicado anteriormente, los intervalos de riego se pueden establecer entre 1 y 4 días, en tal caso decidimos que para los meses de máxima necesidad (mayo, junio, julio, agosto y septiembre) se regará todos los días (intervalo 1 día), y el resto de los meses cada dos días.

Por ejemplo, en el caso del mes de máxima necesidad, Julio, sus necesidades hídricas son de 7,62 L/planta y por día. En este caso es el equivalente a la dosis a aportar, ya que la realizaremos cada día del mes, pues el intervalo entre riegos es de 1 solo día, lo que hace un total de 30 dosis. El tiempo empleado en dar el riego se calculó con anterioridad, y es de 1 hora y 54,6 minutos. Multiplicando dicho tiempo a su vez por los días de riego, nos saldrá el tiempo total empleado durante ese mes, ente caso 59,21 horas, es decir, 59 horas y 12,6 minutos.

El calendario de riegos queda definido por el siguiente cuadro:

Tabla 5. Calendario de riegos.

	<b>Dosis (L/planta.día)</b>	<b>Intervalo de riegos (días)</b>	<b>Tiempo (h) de riego/día</b>	<b>Días de riego/mes</b>	<b>Tiempo (h) de riego/mes</b>
<b>ENERO</b>	0,79	2	0,395	15	5,92
<b>FEBRERO</b>	1,08	2	0,54	14	7,56
<b>MARZO</b>	1,81	2	0,91	15	13,57
<b>ABRIL</b>	1,81	2	0,91	15	13,57
<b>MAYO</b>	4,44	1	1,11	31	34,41
<b>JUNIO</b>	5,13	1	1,28	30	38,48
<b>JULIO</b>	7,62	1	1,91	31	59,21
<b>AGOSTO</b>	6,57	1	1,64	31	50,92
<b>SEPTIEMBRE</b>	4,77	1	1,19	30	35,78
<b>OCTUBRE</b>	2,56	2	1,28	15	19,2
<b>NOVIEMBRE</b>	1,19	2	0,6	15	8,93
<b>DICIEMBRE</b>	0,72	2	0,36	15	5,4

Para un efectivo manejo del riego se aconseja la utilización de un tensiómetro para determinar la humedad del suelo, situado en el ruedo de la vid, bajo la influencia de la humedad suministrada por los goteros, de forma que se conozca realmente la humedad del suelo.

## 6. DOCUMENTACIÓN CONSULTADA

### 6.1. Bibliografía

- CASTRO, J.; GARCÍA ORTIZA, A.; MARTÍNEZ, C.; MATEOS, L., NAVARRO, C.; ORGAZ, F.; PASTOR, M.; SAAVEDRA, M.; VEGA V. (1996). Manejo del viñedo con riego por goteo. Informaciones Técnicas 41/96. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.
- DOOREMBOS, J.; PRUITT, W.O. (1997). Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO: Riego y drenaje, 24. Roma.

- FUENTES J. L. (1998). Técnicas de riego. Ed. Mundi-Prensa.
- GISPERT, J. R.; GARCÍA, J. A. (1996). 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. Depto. De Arboricultura Mediterránea. Mas Bové. IRTA.
- KELLER, J.; KARMELI. (1978). Trickle irrigation design (Rainbird Sprinkler Manufacturing Corporation. Glendora, CA.
- URBANO TERRÓN, P. (2000). Tratado de fitotecnia general. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.