

NECESIDADES HÍDRICAS DE LOS CULTIVOS BAJO RIEGO POR GOTEO

6.1.- Introducción. 6.2.- Evapotranspiración bajo riego por goteo. 6.3.- Métodos de estima o medida de las necesidades hídricas. 6.4.- Medida del índice de cobertura del suelo o suelo sombreado por los cultivos. 6.5.- Cálculo del factor de corrección (K_r) de las necesidades hídricas.

6.1 Introducción

En el riego por goteo el agua se distribuye en la parcela a través de tuberías de pequeño diámetro (12,5; 16 mm) y se aplica en el terreno en lugares específicos a través de unos puntos de emisión llamados goteros. La aplicación del agua suele producirse en la superficie del suelo, aunque también puede aplicarse bajo la superficie del mismo (Figura 1). Este sistema de riego se basa en la aplicación de pequeñas dosis de agua con altas frecuencias.



Foto 1. a) Aplicación del agua en superficie y b) Detalle de un lateral de riego por goteo subterráneo instalado en vid.

La figura 1 muestra el frente húmedo del volumen mojado por un gotero en función del volumen infiltrado (4, 8, 12 y 16 litros) en dos suelos de textura claramente diferentes y bajo dos tipos de descarga. La figura 2 ilustra, igualmente, la influencia de la clase textural del suelo sobre el patrón de distribución del agua bajo idéntico volumen de riego y caudal del gotero.

Ambas figuras indican que en el riego por goteo la forma y dimensiones del volumen humedecido, dependen, sobre todo, de las propiedades y características del perfil físico del suelo (tipo de textura y propiedades hidráulicas) y, para un suelo dado, del volumen de agua aplicado, caudal del emisor y topografía del terreno. El nivel de homogeneidad o el grado de estratificación del perfil del suelo en la profundidad explorada por las raíces debe evaluarse en profundidad por su relación con el movimiento del agua en el suelo y por tanto con la forma y dimensiones del volumen húmedo (Figura 3). El patrón de humedecimiento del riego por goteo contrasta con el de los sistemas de aspersión e inundación debido a la aplicación del agua a una sola parte de la superficie del terreno. Estas características diferenciales

hacen que el manejo del riego sea muy diferente al de los métodos convencionales.

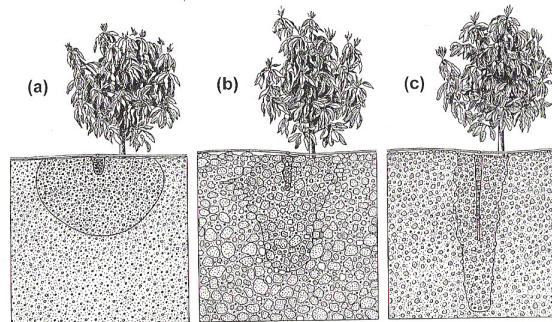
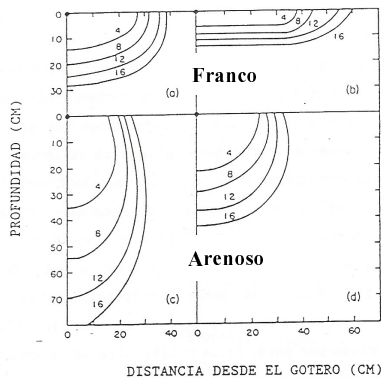


Figura 1. frente húmedo del volumen mojado por el gotero en función del volumen infiltrado, para 2 tipos de suelo (franco y arenoso) y 2 descargas (q=4 L/h [a y c] y q=20 L/h [b y d])

Figura 2. Patrón de humedecimiento en riego por goteo para suelos con diferente textura y propiedades hidrofísicas (a=arcilloso; b=franco y c= arenoso).

En los riegos localizados el objetivo principal es mantener a un nivel prácticamente constante y cercano a capacidad de campo el contenido de humedad de un determinado volumen de suelo, de ahí la necesidad de aplicar el agua de riego con alta frecuencia (Figura 4). Por ello, si se dispusiese de aguas de buena calidad y se minimizaran las pérdidas por percolación profunda a partir de controles del estado hídrico del suelo en la zona inferior radicular, el agua a aplicar debería ser prácticamente igual a la evapotranspirada, al asumir ausencias de escorrentías dadas las bajas pluviometrías de los emisores. La pérdida de importancia del papel jugado por el suelo como reservorio de agua, en estos sistemas de riego, va acompañada de la mayor relevancia de la estimación precisa de la ET del cultivo (ETc), al ser requisito esencial para una correcta programación del riego por goteo.

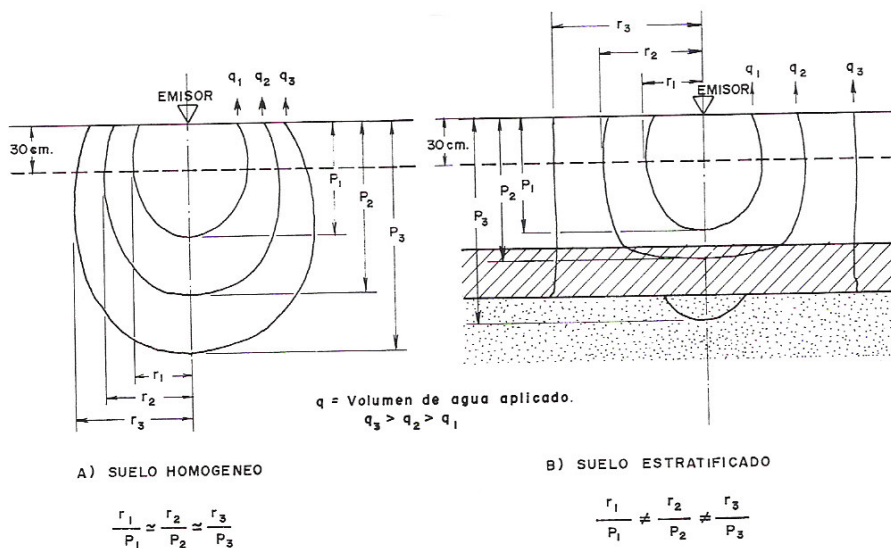


Figura 3. Volúmenes humedecidos en suelo homogéneo y estratificado

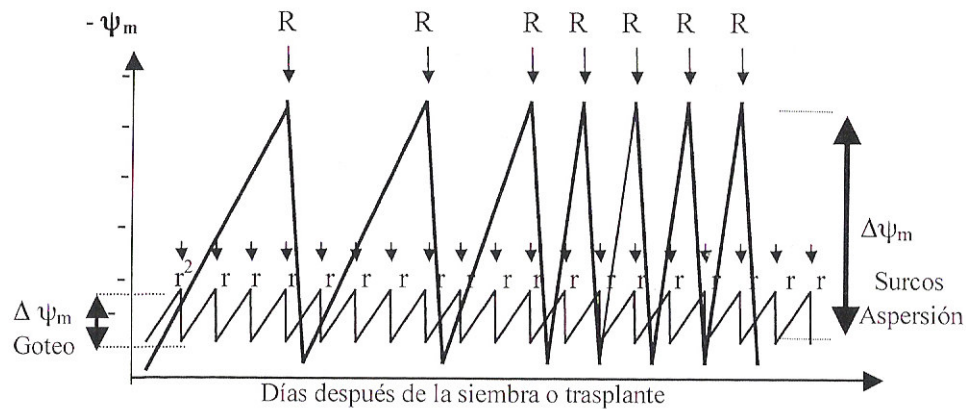


Figura 4. Variación de potencial del agua en el suelo según sistema de riego (R, r= aplicación de las dosis de riego por surcos-aspersión y goteo, respectivamente)

6.2.- Evapotranspiración bajo riego por goteo

Una plantación en riego por goteo puede representarse, esquemáticamente, como una superficie seca, donde descansan prismas húmedos (suelo mojado + planta) (Figura 5).

Si a esta situación se aplica el balance de energía se tiene que:

$$R_n = G + H + E + M$$

donde:

R_n = radiación neta (diferencia de los flujos de radiación incidente y emitida)

G = energía utilizada en el calentamiento del suelo.

H = energía utilizada en transferencia de calor sensible. (calentamiento del aire)

E = energía utilizada en transferencia de vapor de agua (calor latente)

M = energía disipada en procesos metabólicos.

En las zonas secas, el término E pierde importancia relativa al disminuir el gradiente de vapor entre la superficie del suelo y aire (disminución de evaporación). En esas condiciones el término G, usualmente poco importante, adquiere un mayor peso, produciéndose un calentamiento de la superficie del suelo, que se comportará como un emisor de radiaciones de onda larga.

$$R = \varepsilon \sigma T^4 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

Donde:

R = radiación (energía emitida por un cuerpo) por unidad de tiempo

ε = emisividad (o efectividad del cuerpo en la emisión de radiación de todas las longitudes de onda)

σ = constante universal de Stefan-Boltzmann ($5,672 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$)

T = temperatura absoluta del cuerpo radiante

Parte de esta energía será captada y absorbida por la parte húmeda (suelo húmedo + planta) que de esta forma verá incrementada la energía disponible para evapotranspiración.

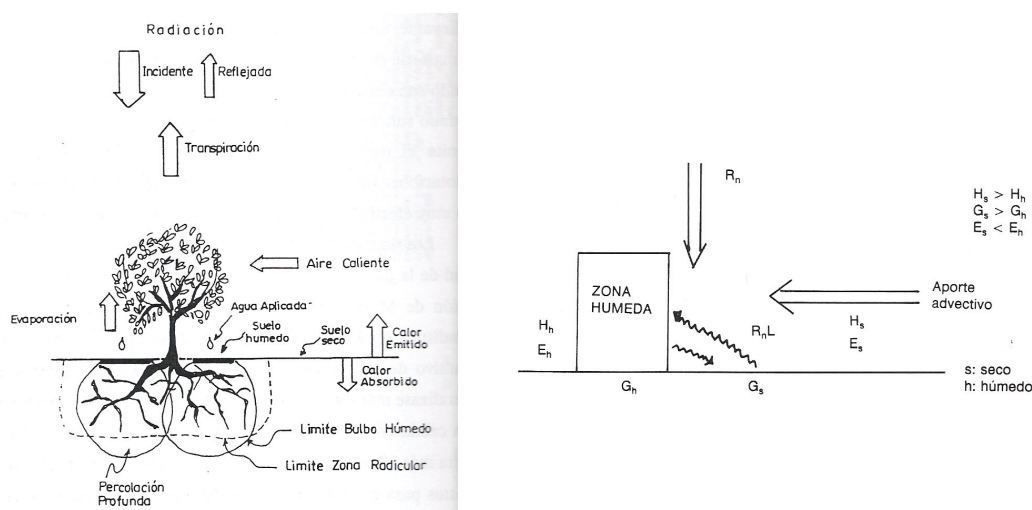


Figura 5. Balance hídrico y de energía de una plantación en riego localizado

Una segunda fuente de energía "extra" al cultivo puede venir a través de transferencia de aire caliente por microadvección desde las zonas secas (Figura 5). Por tanto la situación de este sistema de riego, comparada con los riegos convencionales, puede resumirse en:

- Menor evaporación.
- Mayor energía disponible para la transpiración.

El resultado final del balance de ambos componentes de la evapotranspiración dependerá de la superficie de suelo seco que en cada caso se tenga respecto a la superficie húmeda.

Las predicciones de la ETC obtenidas a partir de la metodología desarrollada para cultivos bajo riego convencional, en el que se humedece prácticamente la totalidad de la superficie del terreno, no son aplicables directamente a los cultivos bajo riego por goteo. Para que esas predicciones de ETC sean aplicables es necesario evaluar los dos efectos diferenciales citados anteriormente, lo que frecuentemente se hace con el empleo de coeficientes correctores (k_r). Es necesario señalar que el porcentaje de área sombreada constituye el factor cultural que más influye sobre la ETC. Así, la evaporación de agua desde la superficie del suelo es alta tras un riego, pero disminuye drásticamente al secarse la superficie del suelo después del humedecimiento. Por ello, cuando las plantas son jóvenes y el suelo está poco sombreado la evapotranspiración es substancialmente menor que cuando la cobertura del suelo es completa.

En almendro, Fereres *et al.* (1981) obtuvieron que para valores de área sombreada superiores al 50 - 60% la evapotranspiración del cultivo es similar en riego localizado y convencional (Figura 6). De modo que cuando un cultivo cubre la totalidad de la superficie del suelo, el consumo de agua de la planta es básicamente el mismo, independientemente del sistema de riego utilizado. Los datos recogidos en la figura 6 indican un alto grado de microadvección (almendros con un 20% de cobertura presentaron ET del 50% de la correspondiente a árboles adultos), a la vez que permiten estimar las necesidades de riego de almendros jóvenes a partir de las correspondientes a árboles adultos.

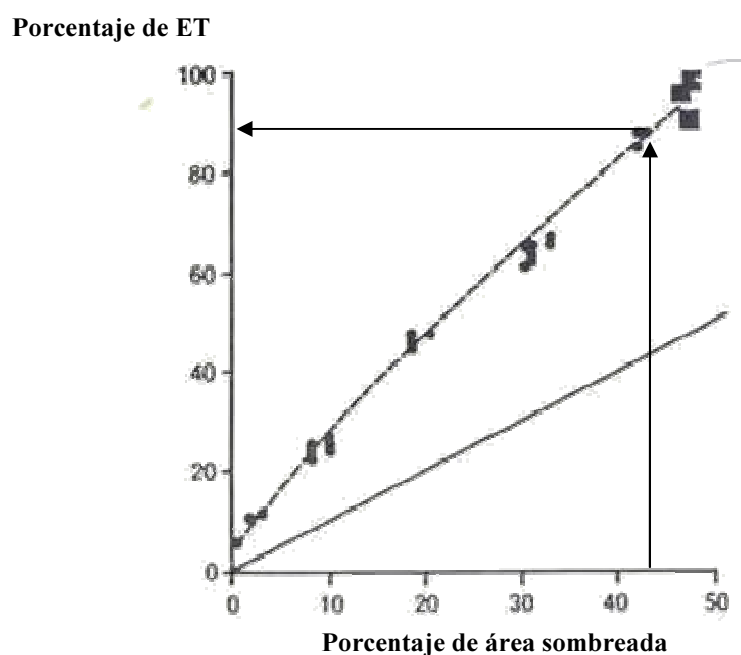


Figura 6.- Relación entre el %SS por almendros jóvenes (julio) y ET relativa a una plantación adulta. (●) Huerto en el Condado de Colusa y ■ Huerto en el Condado de Fresno.

6.2. Métodos de estimación o de medida de las necesidades hídricas de un cultivo (ET)

Los principales métodos desarrollados para la determinación de la ET están clasificados en dos grandes grupos: los que recurren a la medida indirecta de la ET y los que la miden directamente (Tabla 1).

Métodos micrometeorológicos

Se puede determinar la ETo mediante fórmulas empíricas que utilizan datos meteorológicos (Tabla 2), o a través de medidas directas de evaporación del agua (Epan) en un evaporímetro estándar Clase A (Foto 2).

Tabla 1. Clasificación de los modelos desarrollados para medir la ET

Medida indirecta	{ Métodos micrometeorológicos Método del balance de agua en el suelo Métodos fisiológicos
Medida directa	Método de la lisimetría

El método del tanque evaporimétrico Clase A ha sido ampliamente utilizado por las buenas correlaciones encontradas entre la evapotranspiración de referencia y la evaporación de agua en estas superficies normalizadas para períodos superiores a 5 días. El método de Penman-Monteith es el recomendado actualmente por la FAO y la Organización Mundial de Meteorología, WMO, para la determinación de la ETo. Los valores de ETo (ETo-Penman-Monteith) para distintas zonas de la Región de Murcia se pueden obtener a nivel semanal, o incluso diario, en la página Web del *Servicio de Información Agraria de Murcia, SIAM*, (<http://www.carm.es/cagr/cida/siam.htm>).



Foto 2. Tanque clase A rodeado de cubierta verde y detalle del tornillo micrométrico e indicador de anzuelo.

Para calcular la evapotranspiración del cultivo (ETc) en condiciones estándar, o evapotranspiración máxima, entendida como: la lámina de agua necesaria para cubrir las pérdidas por transpiración y evaporación de un cultivo libre de enfermedades, creciendo en campos grandes, con abundante agua y abono, sin condiciones restrictivas de suelo y obteniéndose la producción potencial bajo las condiciones de crecimiento dadas, es necesario utilizar coeficientes específicos, denominados coeficientes de cultivo (Kc). Éstos relacionan la ETo con la ETc y permiten obtener ETc a partir del conocimiento de ETo.

$$ETc \text{ (mm d}^{-1}\text{)} = ETo \text{ (mm d}^{-1}\text{)} \times Kc$$

Los coeficientes de cultivo dependen principalmente del tipo de cultivo, de su edad y de la humedad de la superficie del suelo. La determinación de Kc no resulta fácil. Los Kc que se encuentran en la bibliografía (Doorenbos y Pruitt, 1986; Allen *et al.*, 1998) han sido determinados, principalmente, a partir de lisímetros.

Tabla 2. Datos meteorológicos requeridos para el cálculo de la evapotranspiración (Sánchez-Toribio, 1992)

METODO	PARAMETRO						
	t	HR	hsol	Rs	Rn	Vv	Vd/Vn
Thornthwaite	*		(*)				
Blaney-Criddle	*		*				
Blaney-Criddle-SCS	*						
Blaney-Criddle-FAO	*	*				*	
Turc	*	(*)		o			
Jensen-Haise	*			o			
Hargreaves	*	(*)	(*)	o			
Papadakis	*	*					
Perfil		*				*	
Bowen	*	*			*	*	
Penman	*	*	(*)	(o)		*	
Penman-FAO	*	*	(*)	(o)		*	*
Jensen-ASCE	*	*	(*)	(o)		*	
Penman-Monteith	*	*	(*)	o		*	
Linacre	*	(*)					
Priestly-Taylor	*	*	(*)	o			
Radiación-FAO	(*)	*	(*)	o		*	*

t: Temperatura, HR: Humedad relativa, hsol: Horas sol, Rs: Radiación solar, Rn: Radiación neta, Vv: Velocidad viento, Vd/Vn: Relación velocidad viento diurno/nocturno, *: Medidas necesarias, (*): Medidas convenientes, no imprescindibles, o: Medidas o calculadas a partir de otras variables, (o): Medidas o calculadas a partir de otras variables convenientes, no imprescindibles

Balance de agua en el suelo

El balance de agua en el suelo ha sido uno de los métodos más utilizados para determinar las necesidades hídricas de los cultivos. Se trata de cuantificar las cantidades de agua que entran, salen o permanecen en un volumen de suelo durante un tiempo determinado. El balance de agua se puede representar mediante la siguiente ecuación:

$$P + R = ETc + D \pm \Delta\theta \pm E$$

Donde:

P = lluvia (pluviómetro)

R = riego (contador, aforador)

ETc = evapotranspiración del cultivo (a despejar)

$\Delta\theta$ = variación de humedad del suelo en la zona radicular durante el periodo de medida (sonda de neutrones o TDR)

D = drenaje neto, percolación profunda menos el ascenso capilar

E = aporte o pérdida de agua por escorrentía superficial.

Todos estos parámetros se expresan en unidades de altura de agua (cm o mm).

En ausencia de escorrentía superficial y de aportes laterales la ETc puede ser calculada si el resto de los términos han sido medidos como:

$$ETc = P + R - D - \Delta\theta$$

De modo que si:

$$\theta F > \theta I \Rightarrow + \Delta\theta$$

$$\theta F < \theta I \Rightarrow - \Delta\theta$$

θF y θI son los contenidos volumétricos de agua en el suelo al final e inicio del período de medida.

En los periodos sin riego o lluvia la ecuación del balance se simplificaría a:

$$-\Delta\theta = ETc + D$$

A pesar de su sencillez existe dificultad en separar la parte del cambio de humedad atribuible a ETc del debido a D. Este problema se puede resolver mediante cálculos del plano de flujo nulo.

Cuando se utilizan sistemas de riego localizado las dificultades aumentan, siendo necesario realizar pruebas para la ponderación de las zonas afectadas y no afectadas por los aportes localizados de agua durante el período de riego (Figura 8), así como la realización de un estudio detallado de las características hidrodinámicas del suelo, en especial de la relación entre la conductividad hidráulica y el contenido de humedad del suelo, $k(\theta)$. Una vez establecidas las relaciones funcionales entre conductividad hidráulica y contenido de humedad del suelo, definida la ponderación de áreas en función de los aportes de agua, determinada la profundidad del sistema radical y el gradiente hidráulico; las diferencias de contenido volumétrico, obtenidas con sonda de neutrones o por otra metodología, pueden ser utilizadas para calcular el flujo de agua a través de la profundidad radicular y de este modo cuantificar el drenaje durante el ciclo de cultivo.

Métodos fisiológicos

Estos métodos incluyen técnicas que miden directamente las pérdidas de agua por transpiración de una parte de la planta o de la planta

entera, a partir de medidas de flujo de savia, equivalentes a la transpiración. En árboles frutales adultos la transpiración puede representar, como media, entre el 85 y el 90% de la ET, el resto correspondería a la evaporación del agua del suelo.

A partir de los años 50, diferentes investigadores han trabajado y desarrollado técnicas de medición de velocidad real de la savia, utilizando la inyección de un colorante, de un marcador radioactivo o de trazadores químicos. Aunque el fundamento de estas técnicas es sólido, presentan los inconvenientes de ser destructivas y de difícil utilización durante largos períodos y sobre varios individuos. Esta realidad ha hecho que, en los últimos años, el interés de los investigadores esté centrado en los métodos basados en la interacción entre la circulación de la savia bruta, la transpiración y los transportes de calor. Fruto de esta dedicación ha sido el desarrollo y aplicación exitosa de diferentes métodos que aprovechan la gran capacidad calorífica que posee la savia en comparación con la del aire y la de la madera húmeda; así como los avances habidos en las técnicas de medición de la temperatura y en la informática de aplicación al campo. Todos estos hechos han ampliado de sobremanera las posibilidades de utilización de estos sistemas.

Las técnicas de mediciones térmicas desarrolladas en los últimos años pueden clasificarse en tres grupos:

- Método de impulsión de calor**
- Método radial de calor constante**
- Método de balance de calor**

De los tres métodos, se comenta brevemente el de impulsión de calor. Éste consiste en seguir la velocidad de desplazamiento de pulsos de calor emitidos por una fuente térmica introducida en el recorrido de la savia (Figura 7). El tiempo transcurrido entre la emisión del pulso de calor y la recepción de éste por un sensor dispuesto aguas abajo, permite calcular el tiempo invertido por la savia en recorrer esa distancia. Para distinguir entre el efecto de convección por movimiento de la savia y el transporte de calor por conducción térmica, se colocan asimétricamente un sensor aguas abajo y otro aguas arriba del calentador.

El equipo de medida registra los tiempos en los que se igualan las temperaturas de los termopares situados aguas arriba y abajo del calentador (t_0). Con estos valores y las distancias de instalación de los termopares al calentador se estima la velocidad del pulso de calor en cada profundidad. La conversión de velocidad del pulso de calor a flujo de savia total requiere de la estima de las propiedades físicas de la matriz leñosa y de la superficie de madera conductora.

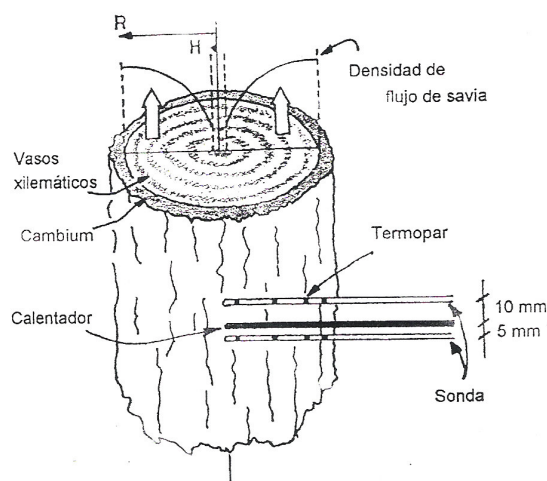


Figura 7. Colocación de las sondas de temperatura y calentador en el tronco del árbol para la medida del flujo de savia por el método de compensación de pulso de calor.

Lisimetría de pesada

Hillel *et al.* (1969) definen los lisímetros como "unos recipientes grandes llenos de suelo (Figura 8); generalmente, ubicados en parcelas cultivadas para representar sus condiciones naturales. En ellos, las componentes del balance de agua en el suelo pueden ser más fácil y exactamente controladas que en el perfil natural del suelo. El método proporciona una medida directa de las cantidades de agua perdidas por evaporación y transpiración, bien por simple balance de entradas y salidas o por diferencias de peso. El equipo es frecuentemente utilizado para evaluar los diferentes métodos de estima de la ETC y estudiar los efectos del clima sobre la evapotranspiración.

Existen fundamentalmente dos grupos de lisímetros: evapotranspirómetros volumétricos y lisímetros de pesada.

Básicamente los lisímetros volumétricos permiten determinar la ET de una cubierta vegetal como término residual de la ecuación del balance hídrico aplicando a un período de tiempo determinado. Para ello, se resta de la cantidad total de agua aplicada al lisímetro (lluvia y/o riego) el agua en exceso recogida en el fondo del mismo mediante recipientes adecuadamente calibrados.

$$\Delta\theta = P + R - ETC - D \pm E$$

En ausencia de escorrentía la ETC puede ser calculada, si han sido medidos el resto de los términos, como:

$$ETC = P + R - D - \Delta\theta$$

El $\Delta\theta$ es la componente cuya determinación es algo más complicada en lisímetros no pesantes, si bien, con el empleo de la sonda de

neutrones puede ser medido a diferentes profundidades en los momentos deseados.

Los lisímetros de pesada constituyen el método más preciso y directo de medida del consumo de agua de las plantas. Estos permiten determinar la evapotranspiración real del cultivo a intervalos de tiempo cortos, durante períodos diarios, de horas, e incluso inferiores. Bajo condiciones de suministro hídrico no limitativas permiten la determinación de los coeficientes de cultivo, a partir de la relación:

$$K_c = E_{Tc}/E_{To}$$

Para ello, es fundamental que tanto el cultivo que crece en él como los circundantes sean representativos de la explotación. Éste suele ser el problema principal con el que se encuentran los lisímetros de pesada, pero no el único.

Según el principio y dispositivo utilizado en la determinación de los cambios de peso, los lisímetros de pesada se clasifican en:

Lisímetros de pesada por báscula mecánica.

Lisímetros de pesada electrónica

Lisímetros de pesada con células hidráulicas de resistencia mecánica.

Lisímetros flotantes.

La figura 8 presenta un lisímetro de pesada instalado en Tal-Amara (Líbano). A pesar de la exactitud de medida de estos dispositivos, la realidad muestra una escasa utilización de los mismos, quizás, por la complejidad de su instalación, por los costes onerosos de su construcción y también por la exigencia de personal cualificado para su manejo.

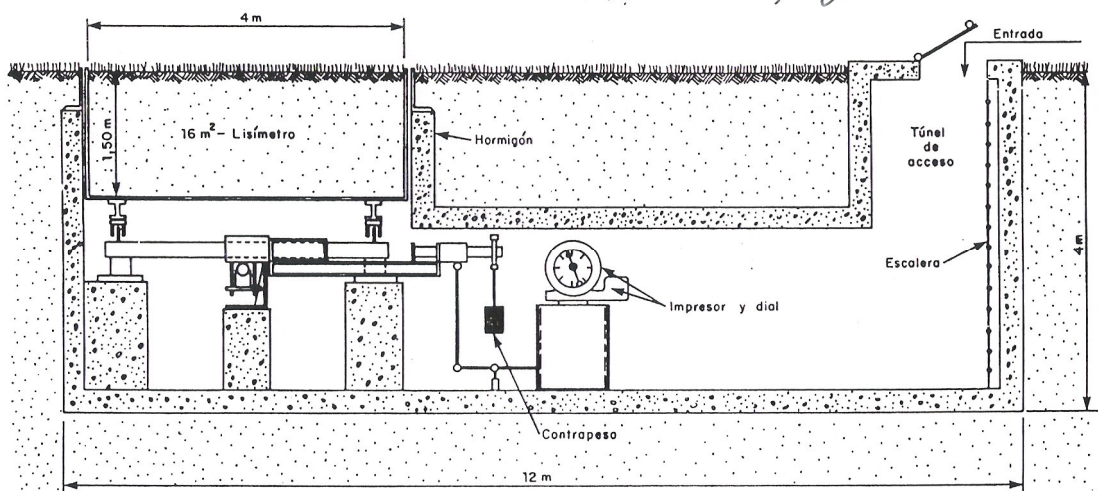


Figura 8. Sección transversal de un lisímetro de pesada con un tanque contenedor de suelo de 16 m² de superficie y 1,5 m de profundidad.

6.3. Medida del índice de cobertura del suelo o suelo sombreado por el cultivo

La práctica más normal de cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos en riego por goteo es la utilización de la metodología FAO de cálculo bajo riego convencional y la aplicación de factores de corrección (k_r) en base al porcentaje de suelo sombreado (%SS).

Existen diversas técnicas que permiten medir el %SS en campo. En plantaciones frutales el %SS se puede estimar a partir de la relación:

$$\%SS = \frac{\text{Área sombreada por el árbol}}{\text{Marco de plantación}}$$

La figura 9 presenta un ejemplo de una plantación frutal a marco de 6 m x 4 m en la que los árboles somborean prácticamente un círculo de diámetro 4 m. El %SS de esa plantación frutal será:

$$\%SS = \frac{\pi \cdot (4)^2 / 4}{24 \text{ m}^2} \times 100 = 52\%$$

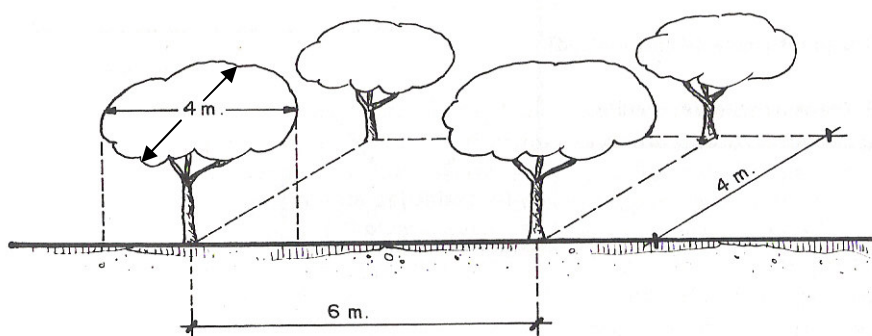


Figura 9. Estimación de la superficie sombreada por la cubierta vegetal del árbol.

En cultivos hortícolas en línea, el %SS se puede obtener simplemente colocando una regla en el suelo paralela a las líneas de cultivo y contando la distancia de regla sombreada. La regla se va moviendo paralelamente a las líneas de cultivo a distancias iguales hasta cubrir la distancia que separa a las dos líneas de cultivo adyacentes. En cada posición de la regla se mide la longitud de regla sombreada. Esta técnica fue desarrollada por Adams *et al.* (1976).

$$\%SS = \frac{\sum r_i}{L \times n}$$

Donde:

r_i = longitud de la regla sombreada en la posición i

L = Longitud total de la regla utilizada.

n = nº de posiciones de la regla entre 2 líneas de cultivo

La figura 10 presenta el esquema de un cultivo en líneas a 0,75 m de separación. Se utilizó una regla de 1 m de longitud graduada en cm (L = 100 cm) que se movió a intervalos de 5 cm ($n = 75/5 = 15$)

Aplicando la ecuación anterior se tuvo:

$$\%SS = \frac{(100+100+66+15+0+0+0+0+0+0+0+60+100+100+100)}{100 \times 15} \times 100 = 42,7\%$$

Estas medidas se deben realizar en días soleados y a una hora próxima a mediodía solar para minimizar el efecto del ángulo de los rayos solares.

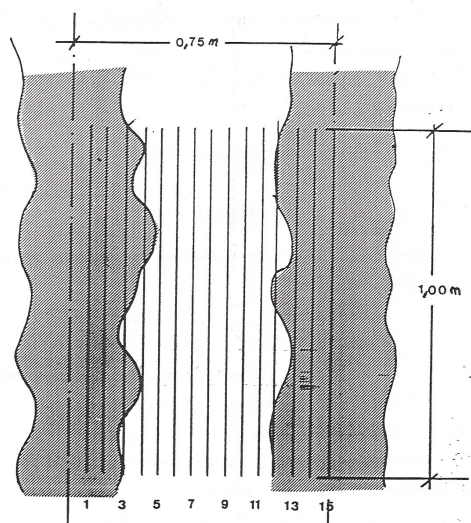


Figura 10. Esquema de las posiciones realizadas para estimar el valor del %SS en un cultivo en líneas mediante la medida de la longitud sombreada. Separación entre líneas 0,75 m, longitud de la regla 1,0 m y posiciones de regla a intervalos de 5 cm.

El porcentaje de suelo sombreado se puede obtener, igualmente, a partir de técnicas fotográficas o mediante relaciones empíricas con otras medidas de cultivo como puede ser el índice de área foliar.

6.4. Cálculo del factor de corrección (kr)

Al objeto de conocer con precisión el valor del factor de corrección de la ETC en riego por goteo (ETcg) es necesario realizar investigaciones experimentales como las realizadas por Fereres *et al.*, 1981 en almendros.

$$ETcg = ETC \times kr$$

Fereres resumió la información de diversos experimentos realizados en frutales jóvenes bajo riego por goteo en California, principalmente en almendro y melocotón, en una relación genérica entre el %SS y el % de la ET relativa respecto a una plantación adulta (Figura 7). Además de E. Fereres, otros autores han propuesto distintos métodos para obtener los valores de kr.

Estos métodos suponen que a efectos de evapotranspiración el área sombreada se comporta casi igual que la superficie del suelo en riegos no localizados, mientras que el área no sombreada pierde el agua con menor intensidad.

Keller y Karmeli propusieron la ecuación siguiente:

$$K_r = \frac{\%SS}{85} = \text{ para } \%SS < 85$$

$$K_r = 1 \text{ para } \%SS > 85$$

Decroix:

$$K_r = 0,1 + SS \quad \text{para } SS < 0,9$$

$$K_r = 1 \quad \text{para } SS > 0,9$$

SS es el suelo sombreado expresado en fracción. El término 0,1 tiene en cuenta el efecto de la microadvección que es importante cuando %SS es pequeño.

Freeman y Garzoli propusieron la ecuación siguiente:

$$K_r = SS + 0,5 (1 - SS) \quad \text{para } SS > 0,5$$

$$K_r = SS \quad \text{para } SS < 0,5$$

Donde SS es suelo sombreado expresado en fracción. Esta relación asume que la evaporación del suelo desnudo no cubierto por las plantas es un 50% de la transpiración del cultivo. Cuando $SS < 0,5$ se recomienda hacer $K_r = SS$ para evitar valores demasiado elevados de K_r .

Ejercicio: Expresar las necesidades hídricas en l/árbol y día de una plantación frutal con un 43% de %SS a un marco de 6 m x 6 m, cuando la ETC en Julio de una plantación adulta es de 5,8 mm/día.

Bibliografía

- ALLEN, R.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. 1998. *Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements*. FAO. Irrigation and drainage paper 56. Roma, Italia. 300 pp.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. 1988. *Las necesidades de agua de los cultivos*. Estudio FAO Riegos y Drenajes. 24. Ed. FAO. Roma. 194 pp.
- FACI, J.M. 1990. *Necesidades hídricas de los cultivos bajo riego por goteo*. En: "IV Curso de Tecnología del Riego". Lleida, p. 1-24.
- FERERES, E.; PRUITT, W.O.; BEUTEL, J.A.; HENDERSON, D.W.; HOLZAPFEL, E.; SCHULBACH, H.; URIU, K. 1981. *Evapotranspiration and drip irrigation scheduling*. En: "Drip Irrigation Management". (E. Fereres, ed.). Univ. of California, Div. Agric. Sci. Davis. Ca. USA, Leaflet 21259. p. 8-13.
- MARTÍN DE SANTA OLALLA, F.; DE JUAN J.A. 1993. *Agronomía del riego*. Ed. Mundi-Prensa. 732 pp.
- PIZARRO, F. 1996. *Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF): goteo, microaspersión, exudación*. Ed. Mundi-Prensa. 514 pp.

- RODRIGO, J.; HERNÁNDEZ, J.M.; PÉREZ, A.; GONZÁLEZ, J.F.; 1997. *Riego localizado*. Ed. Mundi-Prensa, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 405 pp.
- VILLALOBOS, F.J.; MATEOS, L.; ORGAZ, F.; FERERES, E. 2002. *Fitotecnia: Bases y Tecnologías de la Producción Agrícola*. Ed. Mundi-Prensa. 495 pp.