

Tema 6

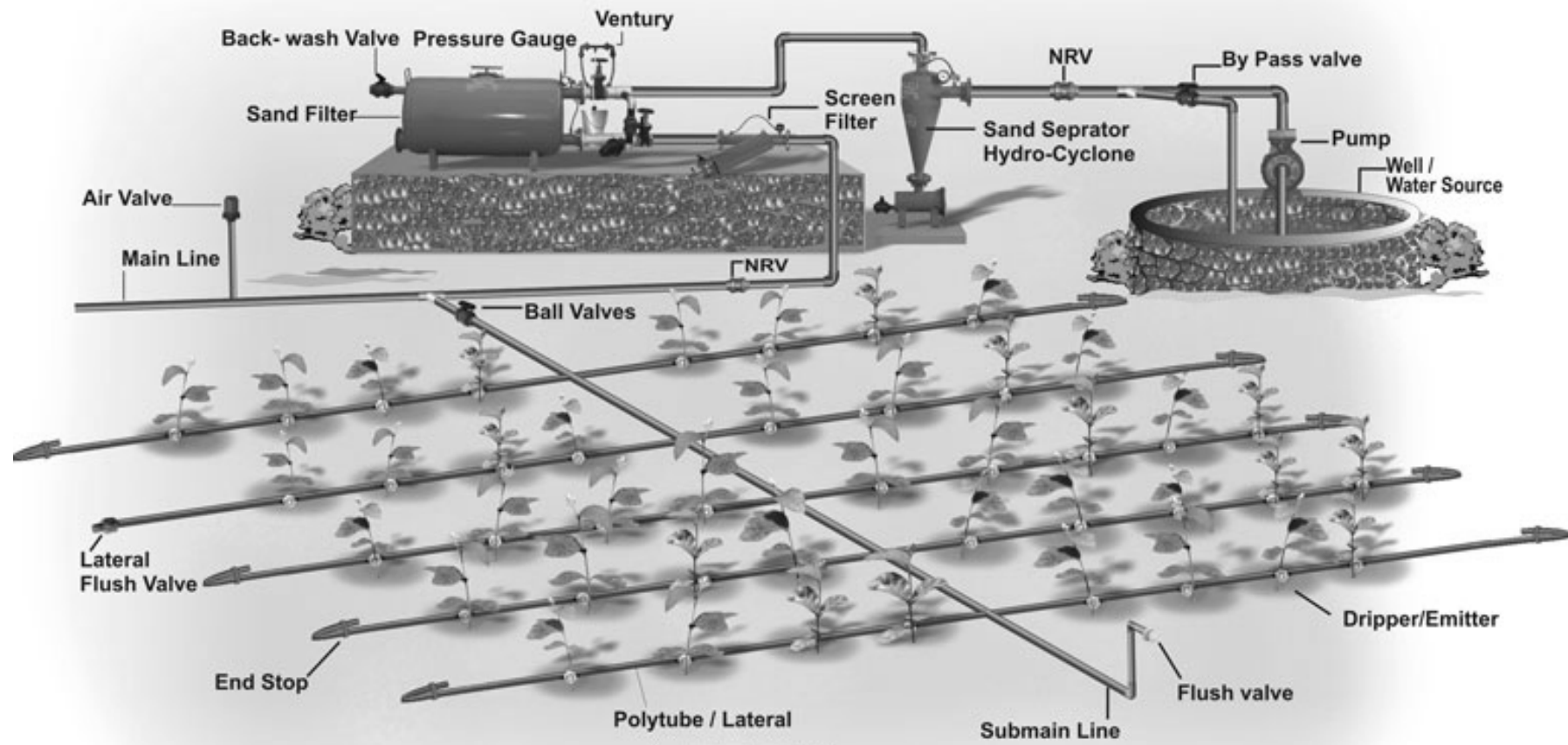
NECESIDADES HÍDRICAS DE LOS
CULTIVOS BAJO RIEGO POR
GOTEO

1. INTRODUCCIÓN

Riego por goteo

- El agua → distribuida en la parcela a través de tuberías de pequeño diámetro (12,5 – 16 mm)
- Puntos de emisión de agua → goteros
 - Superficie
 - Enterrados
- Fundamento: Aplicación de pequeñas dosis a altas frecuencias.

1. INTRODUCCIÓN



1. INTRODUCCIÓN



1. INTRODUCCIÓN



Instalación de riego por goteo subterráneo



Riego por goteo superficial

1. INTRODUCCIÓN

Factores que afectan el volumen de suelo humectado por un gotero

- **Volumen de agua infiltrado**
- **Textura del suelo**
- **Descarga del gotero ($L h^{-1}$)**

1. INTRODUCCIÓN

Factores que afectan el volumen de suelo humectado por un gotero

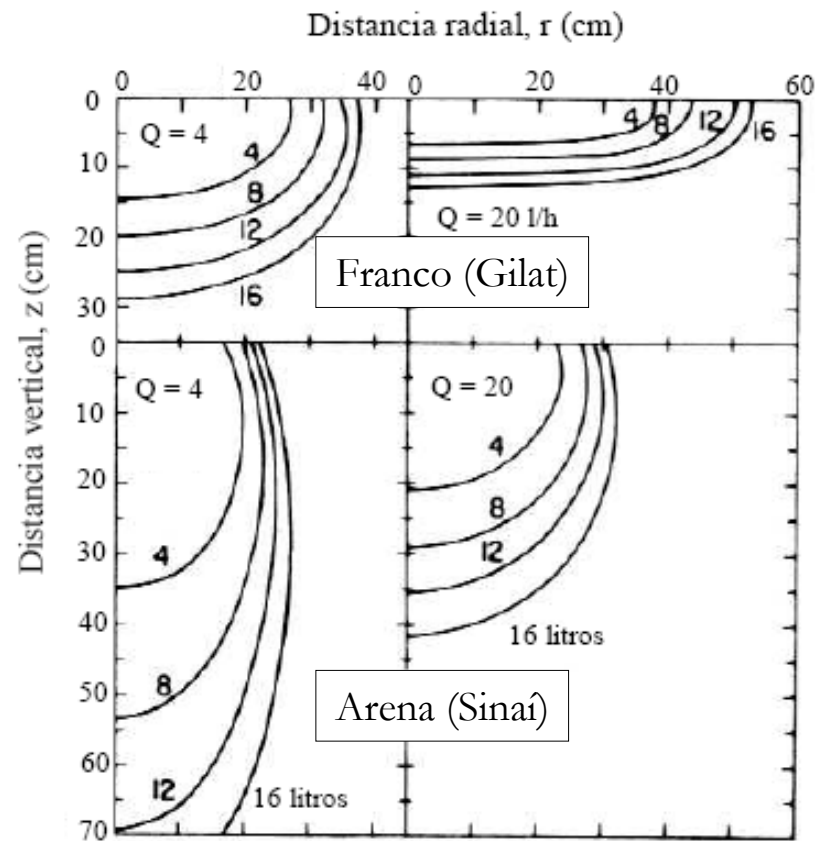
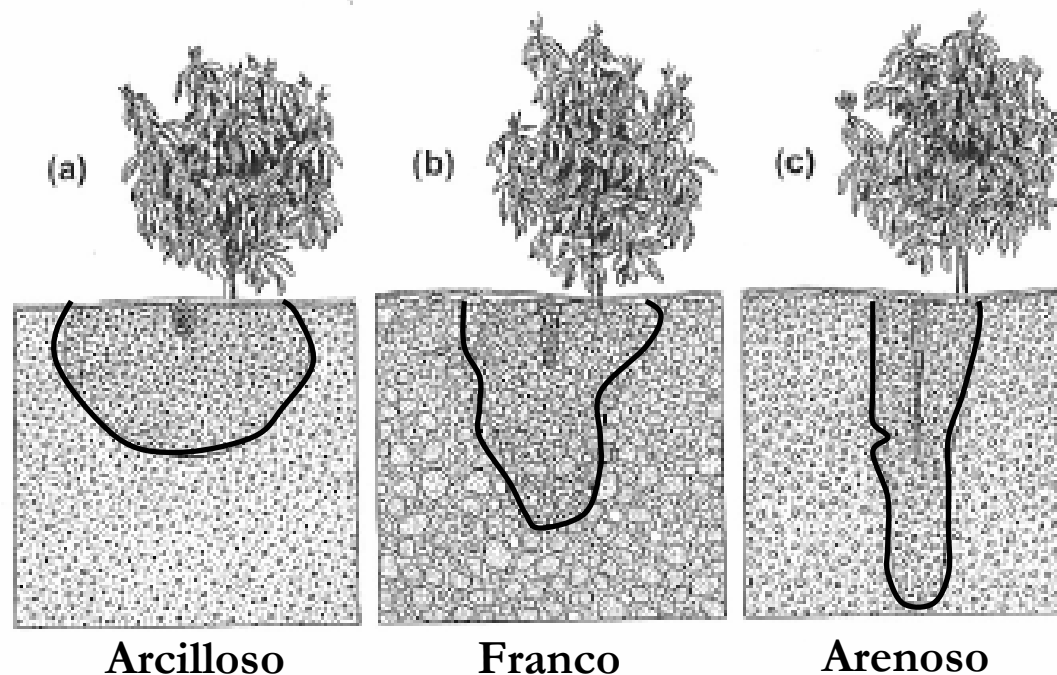


Figura 10. Simulación del avance del frente húmedo en función del caudal del emisor, Q , y de la infiltración acumulada (en litros). Modelo numérico de Bresler (1978)

1. INTRODUCCIÓN

Influencia de la clase textural sobre el patrón de humedecimiento del suelo en riego por goteo



Idéntico volumen de riego y caudal de gotero

1. INTRODUCCIÓN

■ Ambas figuras indican que:

- La forma y dimensiones del volumen humedecido dependen, principalmente, de las propiedades y características físicas del perfil del suelo (textura, propiedades hidráulicas)
- Para un suelo dado, éstas dependen del volumen de agua aplicado, caudal del emisor y topografía del terreno.

1. INTRODUCCIÓN

La homogeneidad del perfil del suelo también influye en la forma y dimensiones del volumen húmedo

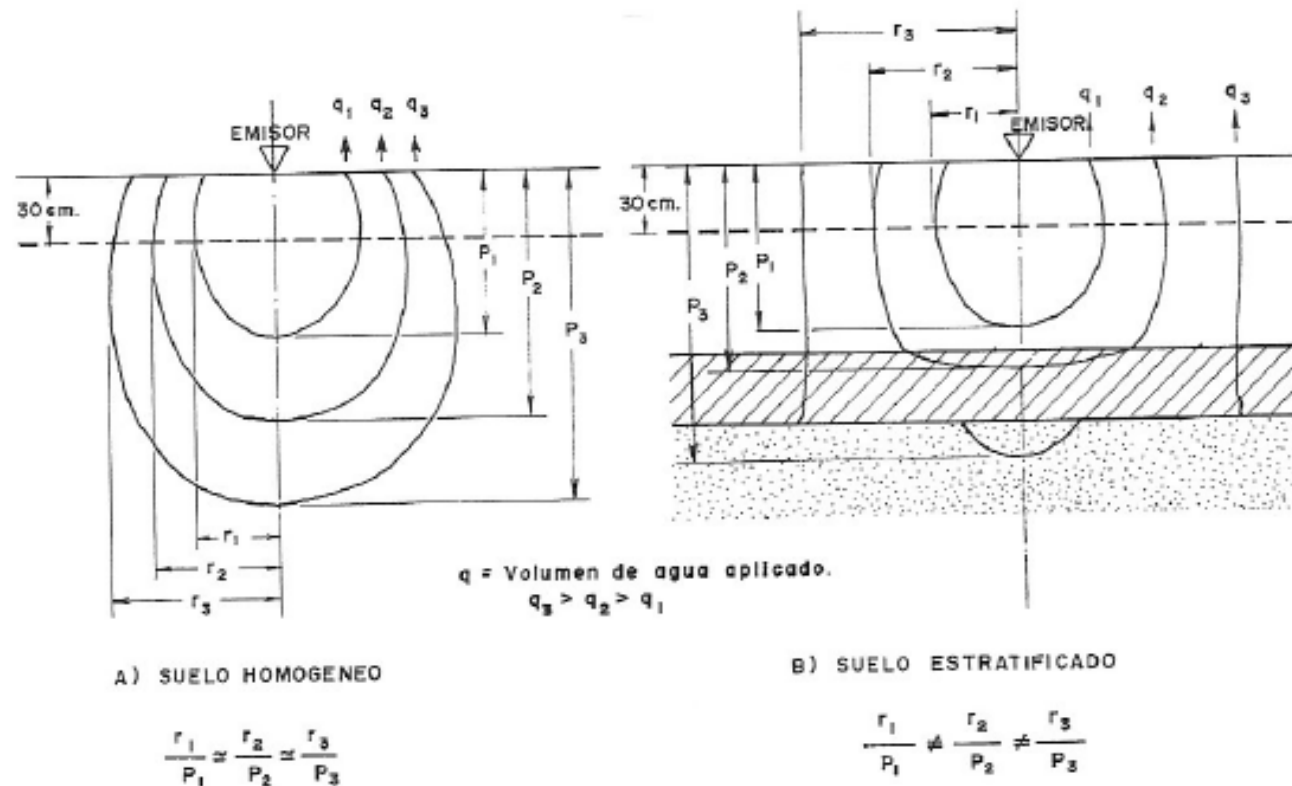


Figura 3. Volúmenes humedecidos en suelo homogéneo y estratificado

1. INTRODUCCIÓN

■ Patrón de humedecimiento del riego por goteo → ≠ riego por aspersión o inundación.

■ Manejo muy diferente al de los métodos convencionales.

Objetivo principal en los riegos localizados

■ Mantener un volumen determinado de suelo a un nivel de humedad prácticamente cte. y cercano a CC.

■ De ahí la necesidad de aplicar el agua de riego con alta frecuencia.

1. INTRODUCCIÓN

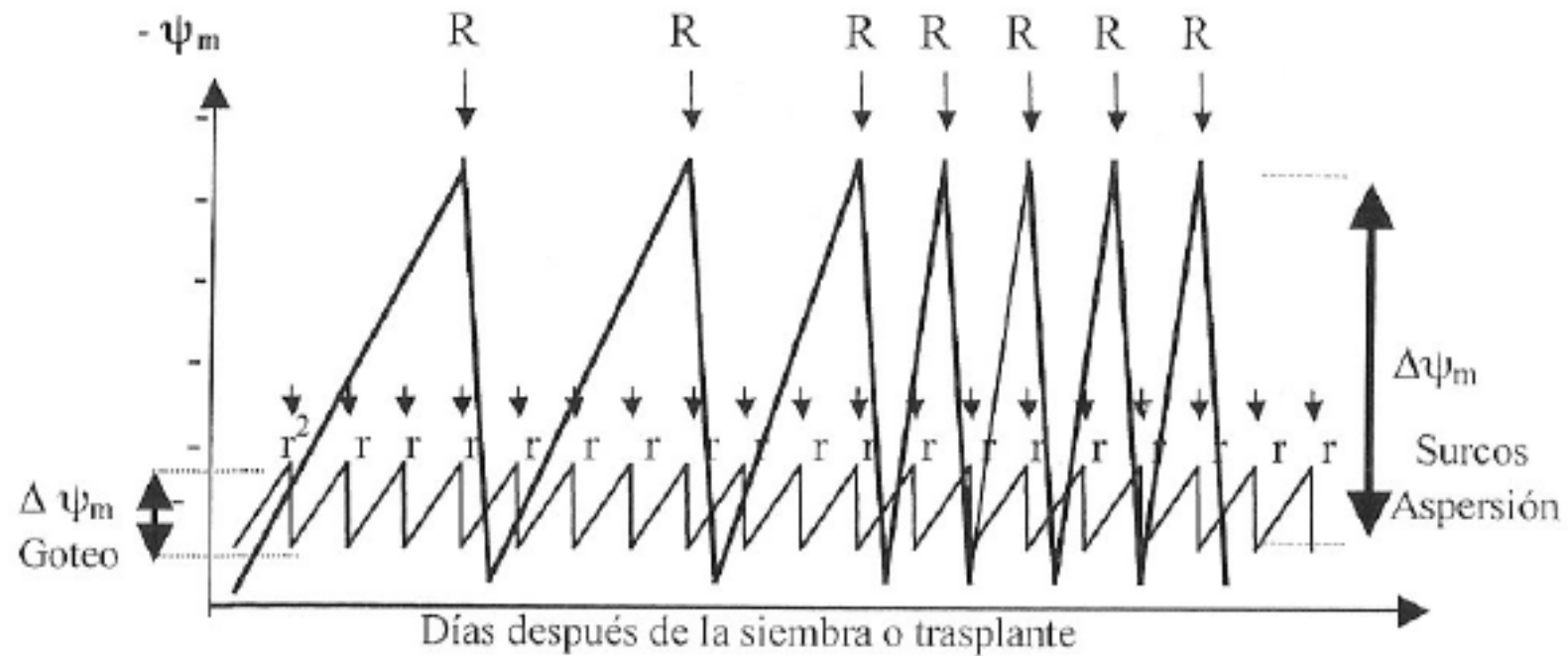


Figura 4. Variación de potencial del agua en el suelo según sistema de riego (R, r= aplicación de las dosis de riego por surcos-aspersión y goteo, respectivamente)

Surcos-aspersión → Importante papel del suelo como reservorio de agua

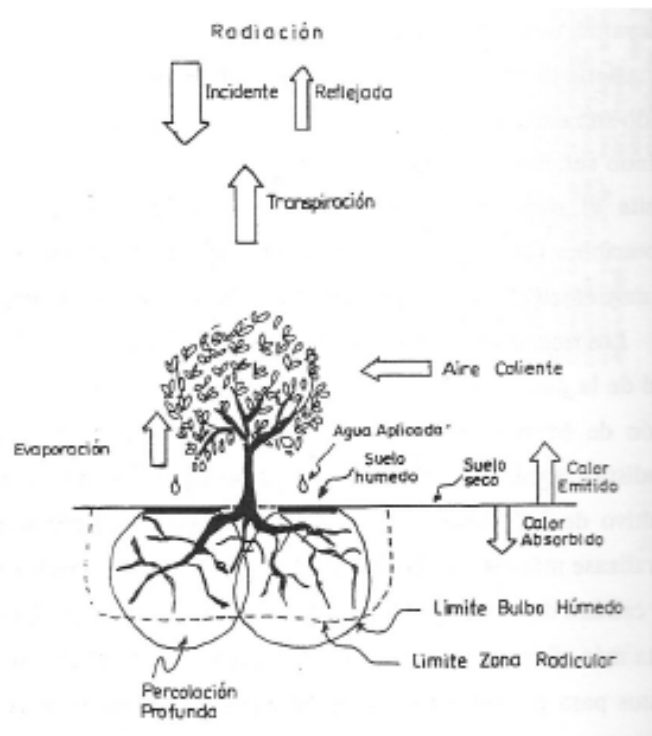
Goteo → Pierde importancia el papel del suelo como reservorio de agua

1. INTRODUCCIÓN

- Riego por goteo → aportes de agua equivalentes a ET (aguas de buena calidad y ausencia de escorrentía)
- La pérdida de importancia del papel del suelo como reservorio de agua en RL → mayor relevancia de la estimación precisa de ET del cultivo (ETc)

2. Evapotranspiración bajo riego por goteo

Esquema representativo de una plantación en riego por goteo



Superficie seca donde descansan prismas húmedos (suelo húmedo + planta)

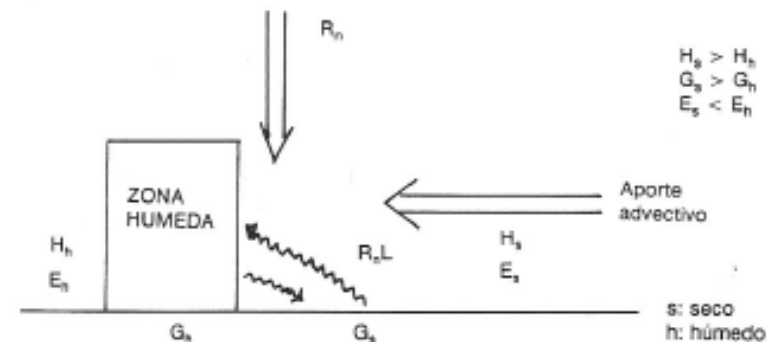


Figura 5. Balance hídrico y de energía de una plantación en riego localizado

2. Evapotranspiración bajo riego por goteo

Balance de energía de una plantación en riego por goteo

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

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

2. Evapotranspiración bajo riego por goteo

Balance de energía de una plantación en riego por goteo

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

Zonas secas (suelo no humectado):

- $E \downarrow \downarrow$
- $G \rightarrow$ adquiere mayor peso que en las zonas húmedas (calentamiento del suelo)

En estas zonas, el suelo se comporta como un emisor de radiación de onda larga.

2. Evapotranspiración bajo riego por goteo

Radiación de o.l. emitada por el suelo

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

R= radiación de onda larga

ε = emisividad

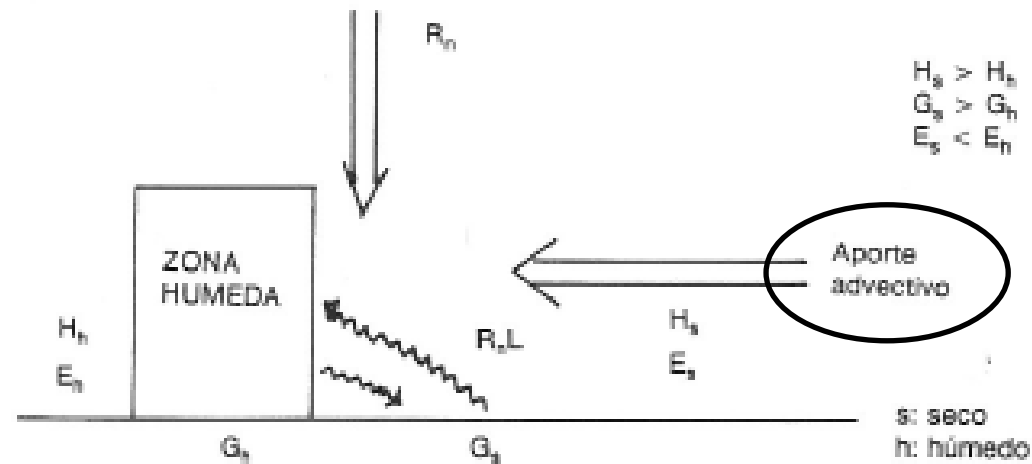
σ = constante universal de Stefan-Boltzmann ($5.672 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$)

T= temperatura absoluta del cuerpo radiante

■ Parte de esta energía será captada y absorbida por la parte húmeda (suelo húmedo + planta) → mayor energía disponible para ET (zona húmeda)

2. Evapotranspiración bajo riego por goteo

- Una segunda fuente de energía 'extra' al cultivo → transferencia de aire caliente por microadvección desde las zonas secas



2. Evapotranspiración bajo riego por goteo

■ En comparación con los riegos convencionales, los RL se caracterizan:

■ Menor evaporación

■ Mayor energía disponible para la transpiración

■ El resultado final del balance de ambos componentes de ET dependerá de la superficie de suelo seco que se tenga respecto a la superficie húmeda.

2. Evapotranspiración bajo riego por goteo

- Las estimas de ET obtenidas a partir de la metodología desarrollada para cultivos bajo riego convencional → no aplicables a cultivos bajo riego por goteo
- Para que estas predicciones de ETc sean aplicables → incluir efectos anteriores
- Frecuentemente se hace con el empleo de coeficientes correctores (kr).

2. Evapotranspiración bajo riego por goteo

■ El porcentaje de área sombreada:

- Factor cultural que más influye sobre ETc**

■ Plantaciones jóvenes:

- % suelo sombreado es bajo**
- ET << que para cobertura completa del suelo**

2. Evapotranspiración bajo riego por goteo

Ejemplo

■ Fereres et al (1981) → en plantaciones de almendro con SS > 50-60%, ETc es similar en RL y convencional

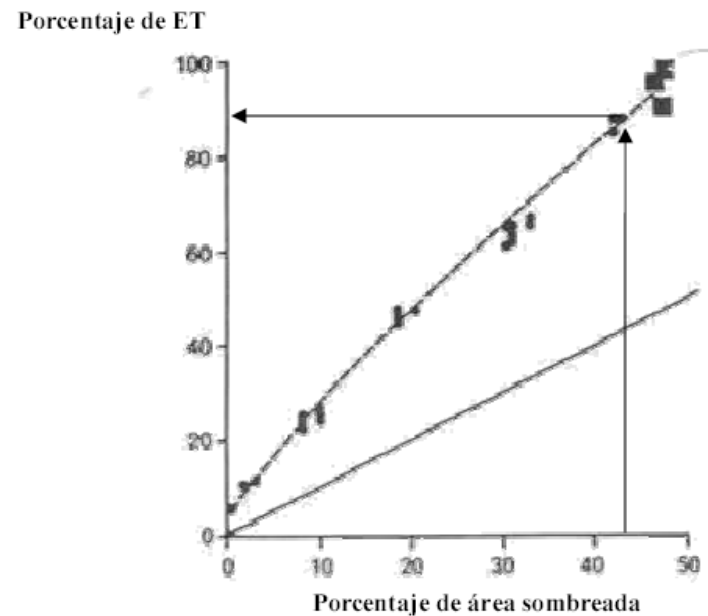


Figura 6.- Relación entre el %SS por almendros jóvenes (julio) y ET relativa a una plantación adulta. (●) Huerto en el Condado de Colusa y ■ Huerto en el Condado de Fresno.

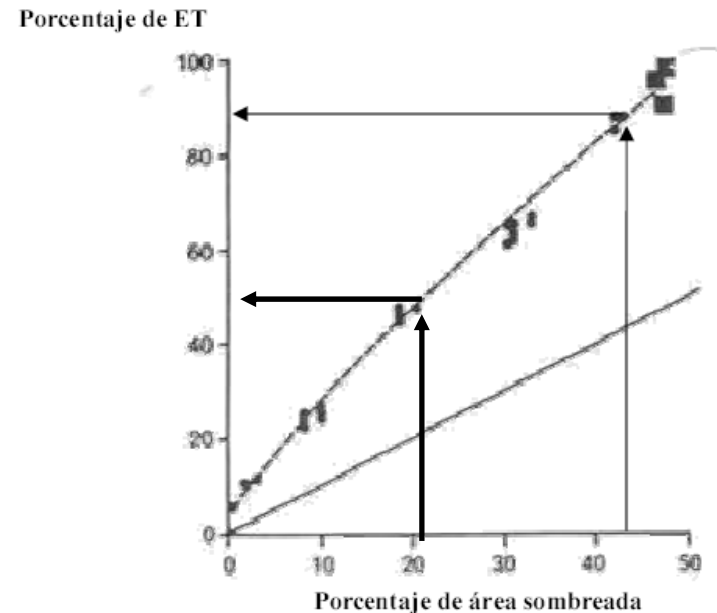
2. Evapotranspiración bajo riego por goteo

■ 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 ($T \gg E$)

2. Evapotranspiración bajo riego por goteo

- En el estudio de Fereres et al (1981) también se aprecia la importancia del efecto de microadvección en riego localizado.

Almendros con un 20% de cobertura presentaron ET del 50% de la correspondiente a árboles adultos



2. Métodos de estimación o de medida de ET

■ Los principales métodos para determinar ET pueden clasificarse:

■ Medida indirecta de ET

■ Métodos micrometeorológicos

■ Método del balance de agua en el suelo

■ Métodos fisiológicos

■ Medida directa

■ Método de la lisimetría

2. Métodos de estimación o de medida de ET

Métodos micrometeorológicos

■ Determinación de ETo a partir de

- fórmulas empíricas**
- medidas directas de evaporación de agua (Epan)**

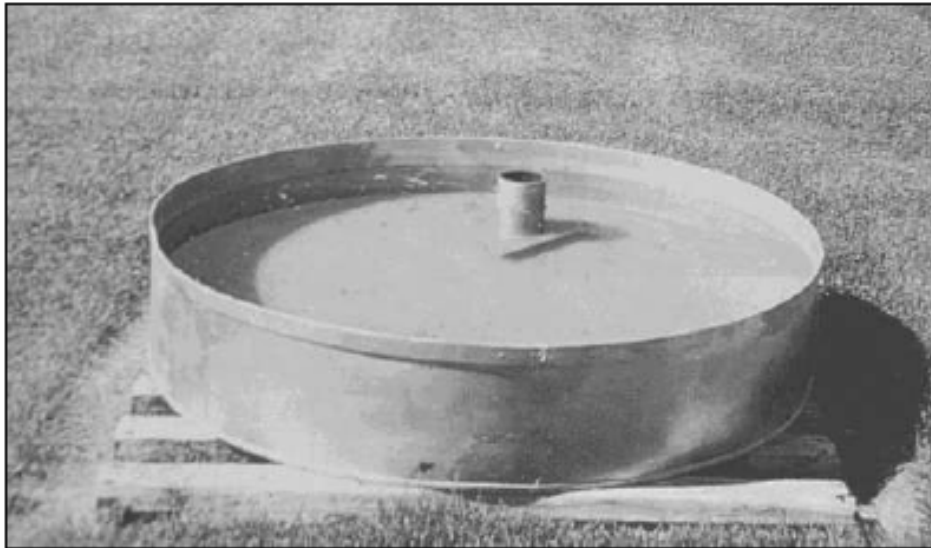
2. Métodos de estimación o de medida de ET

Métodos micrometeorológicos (Fórmulas empíricas)

METODO	PARAMETRO						
	<i>t</i>	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		*	*

2. Métodos de estimación o de medida de ET

Métodos micrometeorológicos (tanque Clase A)



Método ampliamente utilizado por las buenas correlaciones entre E_{To} y E_{pan} para períodos superiores a 5 días

2. Métodos de estimación o de medida de ET

Método de Penman-Monteith

Recomendado actualmente por la FAO y la WMO para la determinación de la ETo

$$ETo (\text{mm dia}^{-1}) = \frac{0,408\Delta R_n + \gamma \frac{900}{T_a + 273} u_2 (e_a^* - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)}$$

Los valores de ETo (ETo –PM) semanales o diarios para distintas zonas de la Región de Murcia pueden encontrarse en la página del SIAM (CARM).

<http://www.siam.imida.es>

2. Métodos de estimación o de medida de ET

Métodos micrometeorológicos

■ Determinación de ET del cultivo en condiciones estándar (ET_c), o ET máxima es necesario utilizar coeficientes específicos → K_c

■ Éstos relacionan la ETo con la ET_c:

$$ET_c \text{ (mm d}^{-1}\text{)} = ETo \text{ (mm d}^{-1}\text{)} \times K_c$$

2. Métodos de estimación o de medida de ET

Métodos micrometeorológicos

■ Factores que influyen sobre Kc:

- **Tipo de cultivo**
- **Edad**
- **Humedad del suelo**

■ Kc de la bibliografía (Doorenbos y Pruitt, 1986; Allen et al., 1998) → determinados a partir de lisímetros y en condiciones de riego tradicional

2. Métodos de estimación o de medida de ET

Balance de agua en el suelo

■ Ha sido uno de los métodos más utilizados para determinar las necesidades hídricas de los cultivos.

■ Consiste en cuantificar las cantidades de agua que entran, salen o permanecen en un volumen de suelo durante un tiempo determinado.

2. Métodos de estimación o de medida de ET

Balance de agua en el suelo

■ Se puede representar mediante la siguiente ecuación:

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

P = lluvia

R = riego

ET_c = evapotranspiración del cultivo (a despejar)

D = drenaje neto (percolación profunda menos el ascenso capilar)

E = aporte o pérdida de agua por escorrentía superficial

$\Delta\theta$ = variación de humedad del suelo

2. Métodos de estimación o de medida de ET

Balance de agua en el suelo

■ En ausencia de escorrentía y aportes laterales:

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

$$\theta_F > \theta_I \rightarrow + \Delta\theta$$

$$\theta_F < \theta_I \rightarrow - \Delta\theta$$

θ_F = humedad del suelo al final del período de medida

θ_I = humedad del suelo al inicio del período de medida

2. Métodos de estimación o de medida de ET

Balance de agua en el suelo

- En los períodos sin riego o sin lluvia:

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

- A pesar de su sencillez, existe dificultad en separar la parte del cambio de humedad atribuible a ET_c del debido a D .

- Este problema puede resolverse mediante cálculos del plano de flujo nulo.

2. Métodos de estimación o de medida de ET

Balance de agua en el suelo

- En riego localizado las dificultades aumentan.
- Es necesario realizar pruebas para la ponderación de las zonas afectadas y no afectadas por los aportes localizados de agua.
- También es necesario un estudio detallado de las características hidrodinámicas del suelo → $k(\theta)$
- Conocido esto, junto con la profundidad del sistema radicular y el gradiente hidráulico, se puede cuantificar D a partir de las diferencias de θ_v (sondas de humedad)

2. Métodos de estimación o de medida de ET

Métodos fisiológicos

- Técnicas que miden directamente las pérdidas de agua por transpiración de una parte de la planta o de la planta entera → medidas de flujo de savia
- En árboles frutales adultos → TR ~ 85-90% ET
- A partir de los años 50 → técnicas de medición de la velocidad real de la savia (colorante, marcadores radioactivos o trazadores químicos).
- Inconvenientes: med. destructivas, difícil de utilizar durante largos períodos, etc.
- Ventajas: localización de las zonas de circulación de la savia en el xilema funcional

2. Métodos de estimación o de medida de ET

Métodos fisiológicos

■ En los últimos años se ha impuesto el uso del transporte de calor para determinar el flujo de savia.

■ Estos métodos aprovechan la capacidad calorífica de la savia frente a la del aire o madera húmeda

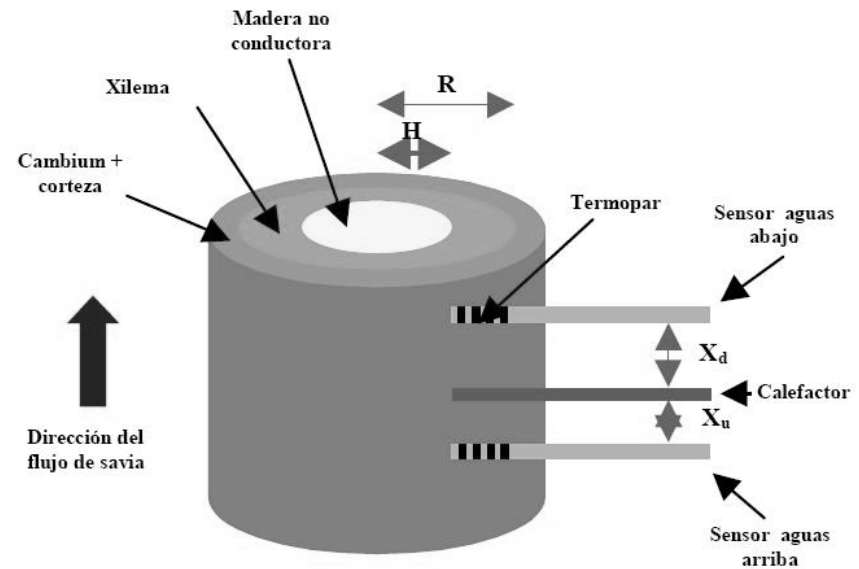
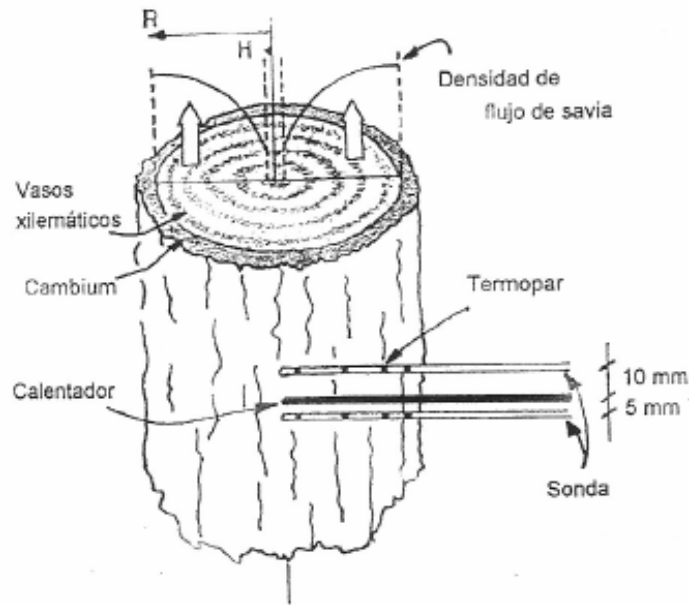
■ Se pueden clasificar en tres grupos:

- Método del pulso de calor
 - Método radial de calor constante
 - Método de balance de calor
- } V
- } Q

2. Métodos de estimación o de medida de ET

Métodos fisiológicos

■ Método del pulso de calor



2. Métodos de estimación o de medida de ET

Métodos fisiológicos

■ Método del pulso de calor

- Permite calcular el tiempo invertido por la savia para recorrer una determinada distancia
- Colocación asimétrica de 2 sensores aguas arriba y abajo del calentador → distinguir entre disipación de calor por convección (savia) y conducción
- El cálculo del flujo de savia total requiere la estimación de las propiedades físicas de la matriz leñosa y de la superficie de madera conductora.

2. Métodos de estimación o de medida de ET

Métodos fisiológicos

■ Método radial de calor constante (Granier, 1985)

- El sensor se compone de dos sondas de temperatura de idéntica geometría.**
- Una de ellas es calentada continuamente a través de un cable de constantán enrollado a la sonda.**
- El flujo de savia se estima a partir de la diferencia de temperatura entre ambas sondas.**
- La máxima diferencia de temperatura corresponde a flujo nulo**

2. Métodos de estimación o de medida de ET

Métodos fisiológicos

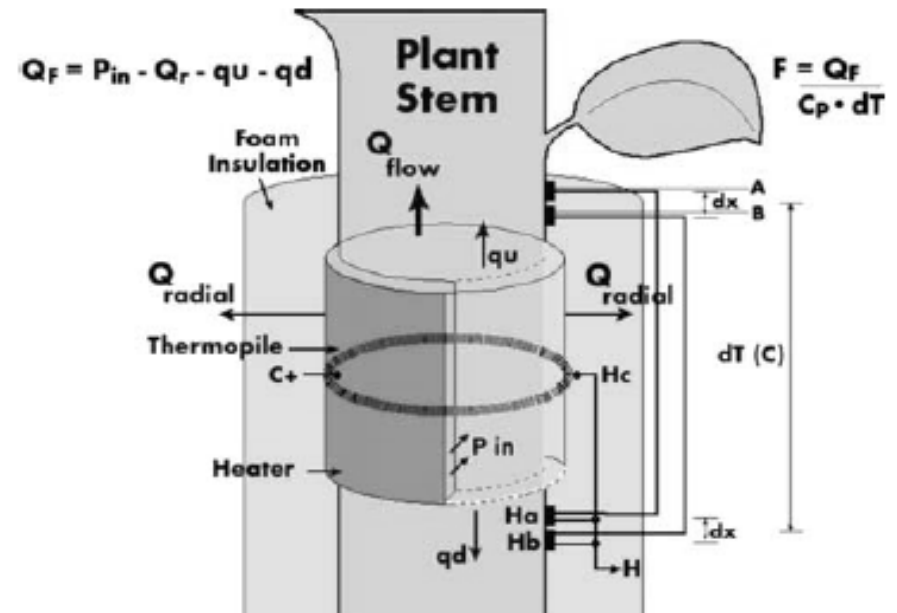
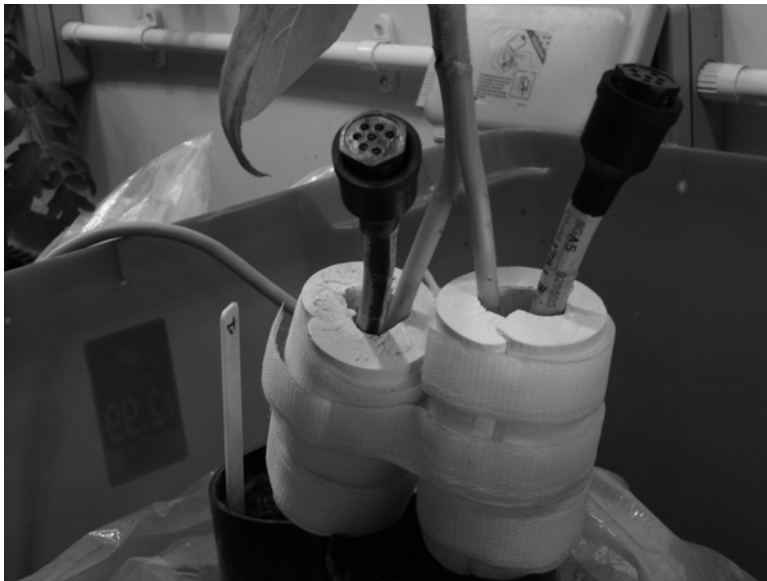
■ Método radial de calor constante (Granier, 1985)



2. Métodos de estimación o de medida de ET

Métodos fisiológicos

■ Método de balance de calor



2. Métodos de estimación o de medida de ET

Métodos fisiológicos

■ Método de balance de calor



2. Métodos de estimación o de medida de ET

Lisimetría de pesada

Hillel et al (1969) → los lisímetros son recipientes grandes llenos de suelo, generalmente ubicados en parcelas cultivadas para representar sus condiciones naturales.

- En ellos es más fácil controlar las componentes del balance de agua en el suelo que en el perfil natural del suelo.**
- El método proporciona una medida directa de ET_c.**
- Se utiliza frecuentemente para (i) evaluar los diferentes métodos de estimación de ET_c y (ii) estudiar los efectos del clima sobre ET.**

2. Métodos de estimación o de medida de ET

Tipos de lisímetros

A. Lisímetros de pesada



2. Métodos de estimación o de medida de ET

Tipos de lisímetros

B. Lisímetros evapotranspirómetros volumétricos

Determinan ET_c a través de la ecuación de balance hídrico aplicado a un período de tiempo determinado.



2. Métodos de estimación o de medida de ET

Lisimetría de pesada

- Constituyen el método más preciso y directo de medida del consumo de agua de las plantas
- Permiten determinar la ET_{real} del cultivo a intervalos de tiempos cortos (días, horas o inferiores).
- Bajo condiciones de suministro hídrico no limitantes permiten determinar K_c :

$$K_c = ET_c / ET_o$$

- Es fundamental que tanto el cultivo que crece en él como los circundantes sean representativos de la explotación

2. Métodos de estimación o de medida de ET

Lisimetría de pesada

➤ 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**

2. Métodos de estimación o de medida de ET

Lisimetría de pesada

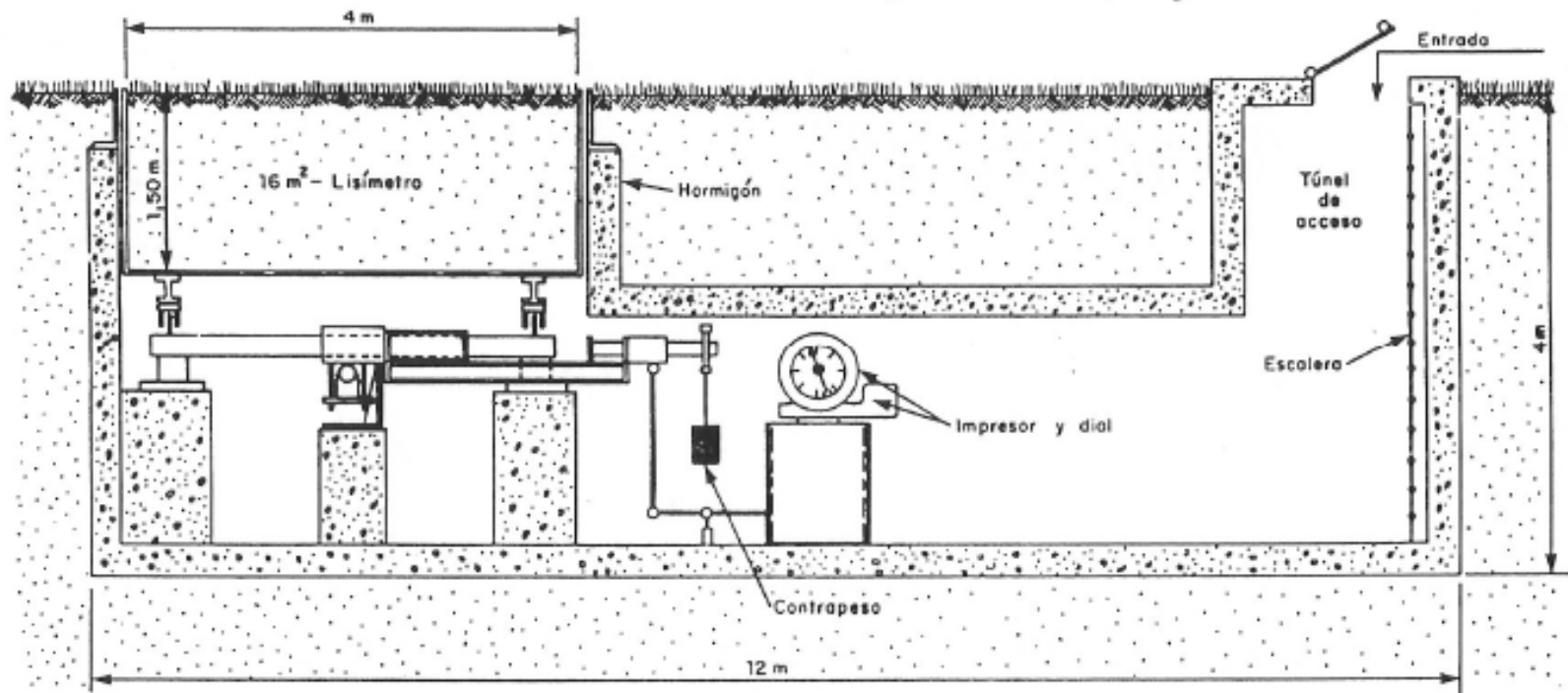


Figura 8. Sección transversal de un lisímetro de pesada con un tanque contenedor de suelo de 16 m^2 de superficie y $1,5 \text{ m}$ de profundidad.

2. Métodos de estimación o de medida de ET

Lisimetría de pesada

➤ A pesar de la exactitud de medida de estos dispositivos, su utilización no está muy extendida:

- Por la complejidad de su instalación**
- Por los costes de su construcción**
- Exigencia de personal cualificado para su manejo.**

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 para riego convencional y aplicar factores de corrección (kr).

■ Los coeficientes de corrección f (%SS)

■ Existen diversas técnicas que permiten medir el %SS en campo.

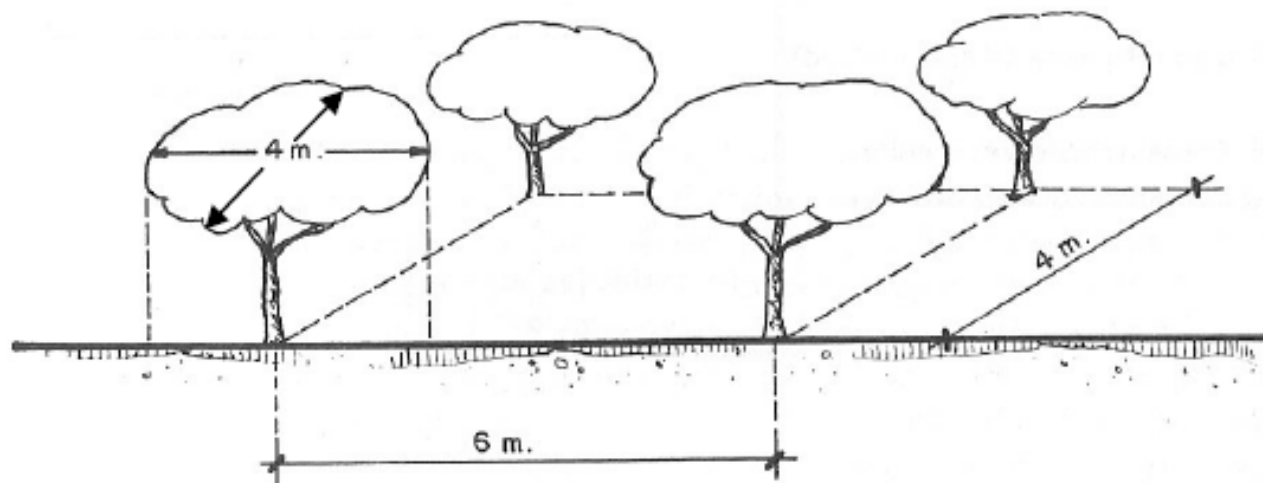
■ En plantaciones frutales el %SS se puede estimar a partir de la relación:

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

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

Ejemplo.- Plantación frutal

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



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

Ejemplo.- Cultivos hortícolas en línea

- %SS → puede estimarse colocando una regla en el suelo paralela a las líneas de cultivo y contando la distancia de regla sombreada.**
- La regla se desplaza paralelamente a las líneas de cultivo a distancias iguales hasta la línea de cultivo adyacente.**
- En cada posición de la regla se mide la longitud de regla sombreada**
- Realizar en días soleados y próximo al mediodía solar**

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

Ejemplo.- Cultivos hortícolas en línea

➤ Este método fue propuesto por Adams et al (1976)

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

r_i = longitud de la regla sombreada en la posición i

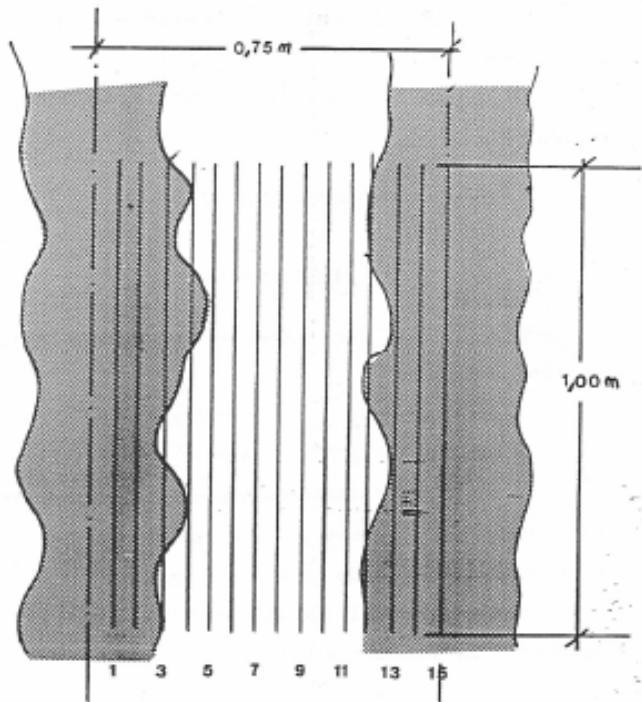
L = longitud total de la regla utilizada

n = n° de posiciones de la regla entre 2 líneas de cultivo

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

Ejemplo.- Cultivos hortícolas en línea

$$\%SS = \frac{(100 + 100 + 66 + 15 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 60 + 100 + 100 + 100)}{100 \times 15} \times 100 = 42.7\%$$



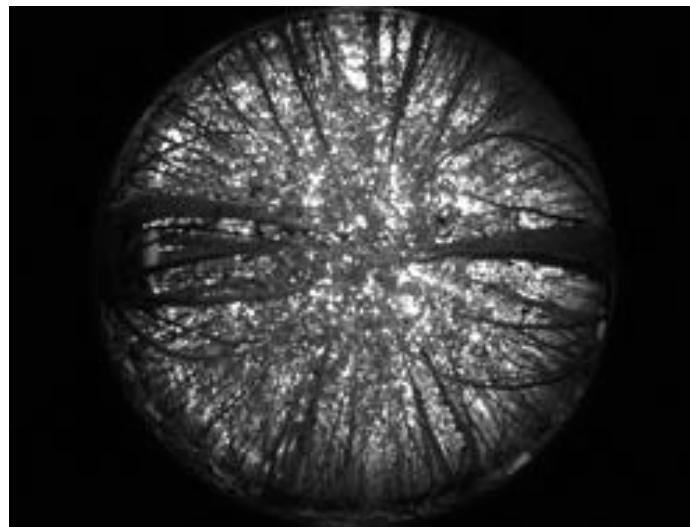
L (Regla) = 100 cm

n= 15 posiciones

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

➤ El % SS también se puede obtener:

-Técnicas fotográficas



- Mediante relaciones empíricas con otras medidas de cultivo como puede ser el índice de área foliar, diámetro de tronco, etc.

4. Cálculo del factor de corrección (kr)

➤ Para conocer con precisión el valor del factor de corrección de la ETc en riego por goteo (ETcg) es necesario realizar investigaciones como las de Fereres et al (1981) en almendros.

$$ET_{cg} = ET_c \times k_r$$

➤ Fereres obtuvo una relación genérica entre el %SS y el %ET relativa respecto a una plantación adulta.

➤ Además de Fereres, otros autores han propuesto distintos métodos para obtener los valores de kr.

4. Cálculo del factor de corrección (k_r)

➤ Keller y Karmeli propusieron la siguiente ecuación:

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

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

4. Cálculo del factor de corrección (k_r)

➤ Decroix:

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

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

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.

4. Cálculo del factor de corrección (k_r)

➤ Freeman y Garzoli:

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

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

SS es el 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.