



Universidad Politécnica de Cartagena  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica

# Examen Fitotecnia

Cartagena 2015

Jorge Cerezo Martínez



Ref. CA. 3.01

### Historial del documento

Fecha	Descripción	Rtdo.	Rvdo.	Apdo.
04/05/2015	Compilación exámenes	JCM	JCM	JCM
11/05/2015	Remasterización	JCM	JCM	JCM
01/06/2015	Correcciones y formulario	JCM	JCM	JCM
25/06/2015	Finalización documentos	JCM	JCM	JCM

## Índice

1.	Formulario.....	5
2.	Problemas cortos .....	11
3.	Potencial osmótico .....	11
4.	Problemas de ascenso capilar .....	12
5.	Problemas de presiones del agua.....	12
6.	Problema de agua en el suelo ( $\theta$ ).....	19
7.	Tensiómetros .....	26
8.	Diseño agronómico .....	30
9.	Programación de riego.....	38
10.	Fertirrigación .....	44
11.	Coficiente de uniformidad.....	45

# Ejercicios

## 1. Formulario

- $\theta_g$ : % contenido gravimétrico de humedad
- $\theta_v$ : % contenido volumétrico de humedad
- $\theta_{vcc}$ : % volumen aparente a capacidad de campo
- $\theta_{vpm}$ : % Volumen aparente a punto de marchitez
- $d_a$ : Densidad aparente del suelo
- $M_h$ : Masa húmeda (g)
- $M_s$ : Masa seca (g)
- $\gamma_{H_2O}$ : Densidad del agua ( $g/cm^3$ )
- $\gamma_{Hg}$ : Densidad del mercurio ( $g/cm^3$ )
- $\delta_{H_2O}$ : Densidad relativa del agua
- $\delta_{Hg}$ : Densidad relativa del mercurio
- S: Superficie
- Z: Profundidad (cm)
- cc: Capacidad de campo
- $V_a$ : Volumen extraído en el análisis (barrenas, cilindros, cubos, etc.)
- $V_{esc}$ : Volumen de escorrentía
- P: Precipitación
- $V_T$ : Volumen total
- L $\theta$ : Lámina de agua (mm)

### Ecuación de Laplace

La tensión que existe en el agua como consecuencia de la formación de una superficie cóncava de radio de curvatura r, cuando el agua se encuentra en un poro cilíndrico.

$$\Delta P = 2\sigma \cos \alpha / r$$

- $\Delta P$ : Diferencia de presión entre el aire en contacto con la superficie del sólido y la tensión del agua
- $\sigma$ : Tensión superficial; f (T)
- $\alpha$ : Ángulo de contacto entre la superficie del líquido y la pared del capilar ( $\alpha = 0$  si el agua moja perfectamente el sólido)

### Potencial osmótico

$$\Psi_0 = -C \cdot R \cdot T$$

- C: Concentración en molaridad del soluto (mol/L)
- R: Constante de los gases ideales
- T: Temperatura absoluta (K)

Recuerda R puede tener varios valores para varias unidades

Constante de los gases ideales R		
Kg·MPa/m ol·K	Atm·L/m ol·K	Bar·L/mo l·K
0,00831	0,0082	0,0081

### Potencial hídrico en estado de vapor

$$\Psi_v = \frac{R \cdot T}{V_{H_2O}} \cdot \ln \frac{HR}{100}$$

- HR: Humedad relativa del aire %
- R: Constante de los gases ideales (0,082 atm·L/mol·K)
- T: Temperatura absoluta (K)
- $V_{H_2O}$ : Volumen molar del agua 18  $cm^3$

### Ley de Darcy

$$q = \frac{V}{A \cdot t} \xrightarrow{Q=V/t} \frac{Q}{A} = -K \frac{\Delta \Psi_H}{\Delta Z}$$

- Q: Unidades de velocidad en cm/h, descarga específica o flujo de agua (volumen de agua que atraviesa el suelo por unidad de área y por unidad de tiempo).
- K: Unidades de flujo en cm/h, coeficiente de proporcionalidad. Muy dependiente del contenido de agua para un mismo suelo, aunque **bajo condiciones de saturación constante**.
- $\Delta \Psi_H$ : En cm, diferencia de potencial hidráulico entre los puntos en los que se estudia el flujo.
- $\Delta Z$ : En cm distancia entre los dos puntos.
- - : el signo negativo indica que el flujo tiene lugar en sentido decreciente de  $\Psi_H$

### Demostración de ajuste osmótico

$$V \cdot C = V' \cdot C' \rightarrow V \cdot \Psi_0 = V' \cdot \Psi_0' \rightarrow \text{MPa}$$

Si  $\Psi_0 \leq$  valor del resultado  $\rightarrow$  Ajuste osmótico

Si  $\Psi_0 \geq$  valor del resultado  $\rightarrow$  No hay ajuste osmótico

### Conductividad hidráulica de columnas de suelo

Conversión de caudales

$$L/\text{día} \cdot 1000 \text{ cm}^3/L = 1000 \text{ cm}^3/\text{día}$$

Aplicamos la Ley de Darcy para calcular la descarga específica, que al final, nos servirá para calcular la unidad de flujo

$$q = \frac{V}{A \cdot t} \xrightarrow{Q=V/t} \frac{Q}{A} \text{ (cm/día)}$$

Se calcula la distancia entre los puntos 1 y 2 ( $\Delta Z_{1-2} = \text{cm}$ ) que será la distancia de la sección transversal de la columna de suelo. En algunos casos en que el radio de la columna no sea dado, habrá que calcularlo a partir de:

$$\pi \cdot r^2 = \text{cm}^2 \rightarrow \sqrt{\frac{\text{cm}^2}{\pi}} = r(\text{cm})$$

Calculamos la diferencia de potencial hidráulico entre los puntos 1 y 2

$$\begin{aligned} \Psi_{H_1} = \Psi_{g_1} + \Psi_{p_1} &\rightarrow \left. \begin{aligned} \Psi_{p_1} &= p_{0A} (\text{profundidad hasta de la columna} + \text{radio}) \cdot \gamma_{H_2O} \\ \Psi_{g_1} &= \text{radio cm} \end{aligned} \right\} \\ \Psi_{H_2} = \Psi_{g_2} + \Psi_{p_2} &\rightarrow \left. \begin{aligned} \Psi_{p_2} &= p_{0B} (\text{profundidad hasta la columna} + \text{radio}) \cdot \gamma_{H_2O} \\ \Psi_{g_2} &= \text{radio cm} \end{aligned} \right\} \\ \Delta \Psi_H &= \Psi_{H_2} - \Psi_{H_1} \text{ (m. c. a)} \end{aligned}$$

Sustituimos de nuevo en la fórmula de la Ley de Darcy para hallar el valor de k

$$q = -K \frac{\Delta \Psi_H}{\Delta Z} \rightarrow k \text{ (Unidad de flujo cm/día)}$$

### Agua en el Suelo

Generalmente serán dados los datos de densidad aparente  $d_a$ , contenido gravimétrico de humedad  $\theta_g$ , contenido volumétrico de humedad  $\theta_v$

Ecuación lámina de agua (todo en m)

$$L\theta = \theta_{vcc} \cdot 10 \cdot Z$$

La conversión de  $\theta$ , a mm/m de L $\theta$  es multiplicar por 10, la expresión en las diferentes unidades es:

$$\boxed{1 \text{ mm} = 1 \text{ L/m}^2 = 10 \text{ m}^3/\text{ha}}$$

Ecuación % peso seco (Contenido gravimétrico de humedad)

$$\theta_g = \frac{M_h - M_s}{M_s} \cdot 100$$

Ecuación % volumen aparente

$$\theta_v = \frac{M_h - M_s}{\frac{\delta_{H_2O}}{V_a}} \rightarrow \boxed{\theta_v = \theta_g \cdot d_a}$$

Ecuación densidad aparente

$$d_a = \frac{M_s}{V_T} \xrightarrow{V=S \cdot Z} \frac{M_s}{S \cdot Z} \xrightarrow{S = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4}} \frac{M_s}{\left(\frac{\pi \cdot \phi^2}{4}\right) \cdot 40}$$

Agua en el suelo, pluviales y escorrentías

## Problemas de cuencas

Se calcula la infiltración

- Precipitación en la cuenca

$$P = p \cdot S_{\text{cuenca}} = \text{m}^3/\text{cuenca}$$

- Volumen de escorrentía

$$V_{\text{esc}} = v \cdot S_{\text{cuenca}} = \text{m}^3/\text{cuenca}$$

- Agua infiltrada

$$A_{\text{inf}} = P - V_{\text{esc}} = \text{Precipitación de la cuenca} - \text{Volumen de escorrentía } \text{m}^3/\text{cuenca}$$

- Lamina de agua infiltrada

$$L\theta_{\text{inf}} = \frac{A_{\text{inf}}}{S_{\text{cuenca}}} = \text{m}^3/\text{ha} = \text{resultado}/10 \text{ mm}$$

Se calcula la cantidad necesaria de contenido húmedo para llenar una capa de suelo de agua

$$L\theta \text{ (mm)} = (\theta_{\text{cc}} \cdot 10 - \theta_{\text{vactual}}) \cdot Z$$

Se restan las diferentes capas que estén completas en mm de agua, cuando llegue a una capa que no se sature completamente, se calcula hasta que distancia llega:

$$Z = \frac{\text{Cantidad entrada en la capa}}{\theta_{\text{cc}} \cdot 10 - \theta_{\text{vactual}}} = \text{cm}$$

Se calcula la cantidad de sedimentos por litro erosionado:

$$M = [\text{Sedimentos}] \cdot V_{\text{esc}} \rightarrow \text{g/L} \cdot \frac{1000\text{L}}{1\text{m}^3} \cdot A_{\text{inf}} = \text{g/cuenca} \cdot \frac{(\text{tn})}{1.000.000 \text{ (g)}} \cdot \frac{1 \text{ (cuenca)}}{S_{\text{cuenca}} \text{ (ha)}} = \text{tn/ha}$$

La erosión siempre se produce en la primera capa, por tanto, la densidad será la de la 1ª:

Se tendrá que convertir la medida de:

$$\text{g/cm}^3 = \text{tn/m}^3$$

$$d_a = \frac{M_t}{V_a} \rightarrow V_a (\text{m}^3/\text{ha}) \rightarrow \frac{M_t}{d_a} = \text{m}^3/\text{ha}$$

Con este dato se calcula la profundidad erosionada

$$V_a (\text{m}^3/\text{ha}) = S_{\text{erosion}} (\text{m}^2) \cdot Z (\text{m}) \xrightarrow{1 \text{ ha}} Z = \frac{V_a}{10000} = \text{mm}$$

## Diseño agronómico

### Tasa de evaporación de referencia

$$ET_o = E_{pan} \cdot k_p \text{ (mm/día)}$$

Donde:

- $E_{pan}$ : Evaporación del tanque evaporímetro
- $k_p$ : Coeficiente del tanque

### Tasa de evaporación del cultivo

$$ET_c = ET_o \cdot k_c \text{ (mm/día)}$$

Donde:

- $ET_o$ : Tasa de evaporación de referencia
- $k_c$ : Coeficiente del cultivo

### Tasa de evaporación para riego

$$ET_{cg} = ET_c \cdot k_r \text{ (mm/día)}$$

Donde:

- $ET_c$ : Tasa de evaporación del cultivo
- $k_r$ : Coeficiente de localización o coeficiente de riego

### Dosis neta

$$D_n = ET_{cg} \cdot I \text{ (mm)}$$

Donde:

- $ET_{cg}$ : Tasa de evaporación para el riego
- $I$ : Intervalo (Días)

### Dosis bruta

$$D_b = \frac{N_n \cdot I \cdot M_p}{(1 - RL^*) \cdot CU} \quad \text{ó} \quad D_b = \frac{N_n \cdot I \cdot M_p}{E_a \cdot CU}$$

Si no fuera dado el marco de plantación

$$D_b = \frac{D_n}{(1 - RL^*) \cdot CU} \quad \text{ó} \quad D_b = \frac{D_n}{E_a \cdot CU}$$

Donde:

- $N_n$ : Necesidades netas del cultivo, también expresado por  $ET_{cg}$  (mm/día)
- $D_n$ : Dosis neta (mm)
- $I$ : Intervalo de riego (día)
- $M_p$ : Marco de plantación ( $m^2$ )
- $E_a$ : Eficiencia de aplicación
- $CU$ : Coeficiente de uniformidad
- $RL$ : Requerimiento de lavado

Se toma el valor más alto

**\*Puede ser necesario**

### Requerimiento de lavado

$$RL = \frac{CE_a}{2 \text{máx} CE_e}$$

Donde:

- $CE_a$ : Conductividad eléctrica del agua de riego
- $CE_e$ : Conductividad eléctrica del extracto de saturación para un rendimiento potencial de 0%

### Dosis del emisor

$$D_e = \frac{q_e}{S_l \cdot S_e} \text{ (mm/h)}$$

Dosis:

- $q_e$ : Caudal del emisor (L/h)
- $S_l \cdot S_e$ : Disposición de los emisores ( $m^2$ )

### Tiempo de aplicación

$$t_a = \frac{D_b}{q_e \cdot e} = \frac{D_b}{D_e} \text{ (h/día)}$$

Donde:

- $e$ : Emisores (emisores/riego)
- $q_e$ : Caudal del emisor (L/h)
- $D_b$ : Dosis bruta
- $D_e$ : Dosis emisor

\*Si aparecen tablas con profundidades a mojar y radios

### Intervalo de profundidad a mojar

$$\left. \begin{aligned} I_{pm_{\min}} &= 0,9 \cdot Z_{raíces} = (m) \\ I_{pm_{\max}} &= 1,2 \cdot Z_{raíces} = (m) \end{aligned} \right\} \text{elegimos valores que se encuentren en los tablas dentro del intervalo}$$

Donde:

- $I_{pm_{\min}}$ : Intervalo de profundidad a mojar mínimo (m)
- $I_{pm_{\max}}$ : Intervalo de profundidad a mojar máximo (m)
- $Z_{raíces}$ : Profundidad radicular efectiva

### Diámetros humectantes

Tipo de suelo	Fórmula
Fino	$WD = 1,2 + 0,1q_e$
Medio (Franco)	$WD = 0,7 + 0,11q_e$
Pesado	$WD = 0,3 + 0,12q_e$

### Cálculo del radio

$$r = \frac{WD}{2} \text{ (m)}$$

### Área mojada del emisor

$$A_{me} = \pi \cdot r^2 \text{ (m}^2\text{)}$$

### Separación entre emisores

$$S_e = r \left( 2 - \frac{S}{100} \right)$$

Donde:

- r: Radio (m)
- S: Solape entre bulbos

### Calculo de emisores

Para frutales

$$e(\text{emisor/planta}) = \frac{M_p \cdot P(\text{m}^2/\text{m}^2)}{A_{me}(\text{m}^2/\text{emisor})}$$

Para hortícolas

$$e(\text{emisor/m}^2) = \frac{P(\text{m}^2/\text{m}^2)}{A_{me}(\text{m}^2/\text{emisor})}$$

Donde:

- $M_p$ : Marco de plantación ( $\text{m}^2/\text{planta}$ )
- P: Mínimo suelo mojado % ( $\text{m}^2/\text{m}^2$ )
- $A_{me}$ : Área mojada del emisor ( $\text{m}^2/\text{emisor}$ )

### Cálculos de intervalos de riego

$$N_n(\text{mm/día}) \cdot I(\text{día}) = V_e(L/\text{planta}) \cdot e(\text{emisor/planta})$$

- $N_n$ : Necesidades netas punta (mm/día)
- I: Intervalo de riego (día)
- $V_e$ : Volumen emisor (L/planta) o ( $\text{L}/\text{m}^2$ )
- e: Número de emisores (emisores/planta) o ( $\text{emisor}/\text{m}^2$ )

Cambios de medidas

	bar	kgf ó kp/cm <sup>2</sup>	mmHg	Pa	Atm	N/m <sup>2</sup>	m.c.a.
bar		1	750	10 <sup>5</sup>	≈1	10 <sup>5</sup>	
kgf ó kp/cm <sup>2</sup>	1		750	10 <sup>5</sup>	1	10 <sup>5</sup>	
mmHg	1,31 · 10 <sup>-3</sup>	1,31 · 10 <sup>-3</sup>		132,58	1,31 · 10 <sup>-3</sup>	132,58	
Pa	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-5</sup>	7,6 · 10 <sup>-3</sup>		10 <sup>-5</sup>	1	
Atm	1	1	760	10 <sup>5</sup>		10 <sup>5</sup>	10,33
N/m <sup>2</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-5</sup>	7,6 · 10 <sup>-3</sup>	1	10 <sup>-5</sup>		
Medidas convencionales							
Tensiómetro	0-0,8	0-0,8	0-600	0-8 · 10 <sup>4</sup>	0-0,8	0-8 · 10 <sup>4</sup>	0-80
Bloques de yeso convencionales	0,5-15	0,5-15	375-11250	5 · 10 <sup>4</sup> -1,5 · 10 <sup>6</sup>	0,5-15	5 · 10 <sup>4</sup> -15 · 10 <sup>6</sup>	50-1500
Bloques de yeso actuales	0,3-2	0,3-2	225-1500	3 · 10 <sup>4</sup> -2 · 10 <sup>5</sup>	0,3-2	3 · 10 <sup>4</sup> -2 · 10 <sup>5</sup>	30-200
Bloques de matriz granular	0,1-2	0,1-2	75-1500	1 · 10 <sup>4</sup> -2 · 10 <sup>5</sup>	0,1-2	1 · 10 <sup>4</sup> -2 · 10 <sup>5</sup>	10-200

Otros cambios

$$1\text{cm}^3 \rightarrow 1000\text{ L}$$

## 2. Problemas cortos

- 1.1. Determine el valor del potencial hídrico en estado de vapor cuando la humedad relativa del aire es 75% y 20°C de temperatura.

Sabemos que el volumen molar del agua es 18 cm<sup>3</sup>

$$\Psi_v = \frac{R \cdot T}{V_{H_2O}} \cdot \ln \frac{HR}{100} \rightarrow \frac{0,0083 \cdot 293}{18} \cdot \ln 0,75 \rightarrow \Psi_v = -0,039 \text{ MPa}$$

- 1.2. El potencial osmótico ( $\Psi_0$ ) de plantas no estresadas fue -1,25 MPa, mientras otra deficitaria -1,45 MPa, reduciendo su volumen un 20% ¿Se dio ajuste osmótico? ¿Por qué?

$$V \cdot C = V' \cdot C' \rightarrow V \cdot \Psi_0 = V' \cdot \Psi_0' \rightarrow \Psi_0 = -\frac{1,25}{0,8} = -1,56 \text{ MPa}$$

si  $\Psi_0 \leq -1,56 \rightarrow$  Ajuste osmótico

si  $\Psi_0 \geq -1,56 \rightarrow$  No ajuste osmótico

-1,56  $\rightarrow$  No ajuste osmótico

- 1.3. El potencial osmótico ( $\Psi_0$ ) de plantas no estresadas fue -1,1 MPa, tras ser sometida a condiciones estresantes se redujo un 15%, alcanza un potencial osmótico ( $\Psi_0$ ) igual a -1,35 MPa. ¿Se dio ajuste osmótico? ¿Por qué?

$$V \cdot C = V' \cdot C' \rightarrow V \cdot \Psi_0 = V' \cdot \Psi_0' \rightarrow 1 \cdot (-1,1) = (1 - 0,15) \cdot \Psi_0' \rightarrow \\ \rightarrow -1,1 = 0,85 \cdot \Psi_0' \rightarrow \Psi_0' = -1,29 \text{ MPa}$$

si  $\Psi_0 \leq -1,29 \rightarrow$  Ajuste osmótico

si  $\Psi_0 \geq -1,29 \rightarrow$  No ajuste osmótico

-1,29  $\rightarrow$  ajuste osmótico

## 3. Potencial osmótico

- 2.1. Determinar el potencial osmótico ( $\Psi_0$ ) sabiendo que la concentración molar es 1,3 moles/kg, a una temperatura de 20°C. Calcular en MPa.

- Calculamos la temperatura en °K  $20 + 273 = 293$
- Aplicamos la constante de los gases ideales para MPa 0,0082

$$\Psi_0 = -C \cdot R \cdot T \rightarrow -1,3 \text{ mol/kg} \cdot 0,00831 \cdot 293 = -3,165 \text{ MPa}$$

- 2.2. Determinar el potencial osmótico ( $\Psi_0$ ) sabiendo que la concentración molar es 1,15 moles/kg, a una temperatura de 20°C. Calcular en MPa.

- Calculamos la temperatura en °K  $20 + 273 = 293$
- Aplicamos la constante de los gases ideales para MPa 0,0082

$$\Psi_0 = -C \cdot R \cdot T \rightarrow -1,15 \text{ mol/kg} \cdot 0,00831 \cdot 293 = -2,8 \text{ MPa}$$

## 4. Problemas de ascenso capilar

3.1. ¿Qué succión o tensión tendría el agua de un suelo en el que los poros más grandes que están sin vaciar de agua tienen un diámetro de  $2 \cdot 10^{-4}$  cm? Suponer que el ángulo de contacto es 0 y los poros cilíndricos. Tensión superficial del agua a  $20^\circ\text{C} = 7,28 \cdot 10^{-2}$  N/m.

- Transformamos las unidades

$$D = 2 \cdot 10^{-4} \text{ cm} \rightarrow 2 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

- Sustituimos en la fórmula, recordando que es el diámetro

$$\Delta P = \frac{2\sigma \cdot \cos \alpha}{r} \rightarrow \frac{4\sigma \cdot \cos \alpha}{D} \rightarrow \frac{4 \cdot 7,28 \cdot 10^{-2} \cdot \cos 0}{2 \cdot 10^{-6}} = 145600 \text{ N/m}^2 \rightarrow 1,456 \text{ bares}$$

- Como es succión  $\Delta P = -1,456$  bares

3.2. El rango de potencial de agua de más interés agrícola es de 0,1 a 15 bares. Calcular el radio de curvatura de los meniscos de agua en el suelo para estos dos potenciales suponiendo que el ángulo de contacto es 0.

- Transformamos las medidas de bares a  $\text{N/m}^2$

$$0,1 \text{ bares} = 10000 \text{ N/m}^2$$

$$15 \text{ bares} = 1500000 \text{ N/m}^2$$

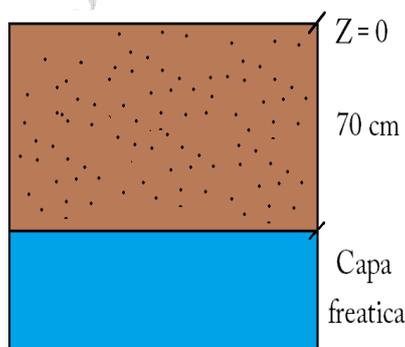
- Suponemos la tensión superficial del agua a  $20^\circ\text{C} = 7,28 \cdot 10^{-2}$  N/m del ejercicio anterior
- Sustituimos en la fórmula, recordando que es el radio

$$\Delta P_{0,1} = \frac{2\sigma \cdot \cos \alpha}{r} \rightarrow r = \frac{2\sigma \cdot \cos \alpha}{\Delta P_{0,1}} \rightarrow \frac{2 \cdot 7,28 \cdot 10^{-2} \cdot \cos 0}{10000} = 1,456 \cdot 10^{-5} \text{ m} \rightarrow 14,56 \mu\text{m}$$

$$\Delta P_{15} = \frac{2\sigma \cdot \cos \alpha}{r} \rightarrow r = \frac{2\sigma \cdot \cos \alpha}{\Delta P_{15}} \rightarrow \frac{2 \cdot 7,28 \cdot 10^{-2} \cdot \cos 0}{1500000} = 9,71 \cdot 10^{-8} \text{ m} \rightarrow 0,0971 \mu\text{m}$$

## 5. Problemas de presiones del agua

4.1. En un suelo cuya agua está en equilibrio (no existe flujo) con una capa freática a 70 cm de profundidad. Calcular  $\Psi_g$ ,  $\Psi_p$  y  $\Psi_H$ ; en centibares a las profundidades de 0, 30, 70 y 100 cm. Tómese la superficie de suelo como nivel de referencia ( $Z = 0$ )



$$\Psi_{g_0} = -h \rightarrow \Psi_{g_0} = 0 \text{ centibar}$$

$$\Psi_{g_{30}} = -h \rightarrow \Psi_{g_{30}} = -0,30 \text{ m. c. a} \rightarrow -3 \text{ centibar}$$

$$\Psi_{g_{70}} = -h \rightarrow \Psi_{g_{70}} = -0,7 \text{ m. c. a} \rightarrow -7 \text{ centibar}$$

$$\Psi_{g_{100}} = -h \rightarrow \Psi_{g_{100}} = -1 \text{ m. c. a} \rightarrow -10 \text{ centibar}$$

$$\Psi_{p_0} = -Z + h \rightarrow -0,7 + 0 = -0,7 \text{ m. c. a} \rightarrow -7 \text{ centibar}$$

$$\Psi_{p_{30}} = -Z + h \rightarrow -0,7 + 0,3 = -0,4 \text{ m. c. a} \rightarrow -4 \text{ centibar}$$

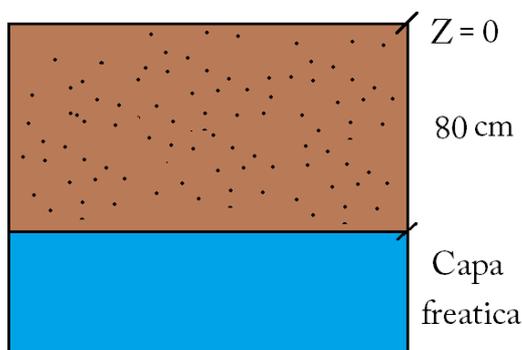
$$\Psi_{p_{70}} = -Z + h \rightarrow -0,7 + 0,7 = 0 \text{ m. c. a} \rightarrow 0 \text{ centibar}$$

$$\Psi_{p_{100}} = -Z + h \rightarrow -0,7 + 1 = 0,3 \text{ m. c. a} \rightarrow 3 \text{ centibar}$$

$$\begin{aligned}\Psi_{H_0} &= \Psi_{g_0} + \Psi_{p_0} \rightarrow 0 - 0,7 = -0,7 \text{ m. c. a} \rightarrow -7 \text{ centibar} \\ \Psi_{H_{30}} &= \Psi_{g_{30}} + \Psi_{p_{30}} \rightarrow -0,3 - 0,4 = -0,7 \text{ m. c. a} \rightarrow -7 \text{ centibar} \\ \Psi_{H_{70}} &= \Psi_{g_{70}} + \Psi_{p_{70}} \rightarrow -0,7 - 0 = -0,7 \text{ m. c. a} \rightarrow -7 \text{ centibar} \\ \Psi_{H_{100}} &= \Psi_{g_{100}} + \Psi_{p_{100}} \rightarrow -1 + 0,3 = -0,7 \text{ m. c. a} \rightarrow -7 \text{ centibar}\end{aligned}$$

Profundidad	$\Psi_g$	$\Psi_p$	$\Psi_H$
cm	Centibares		
0	0	-7	-7
30	-3	-4	-7
70	-7	0	-7
100	-10	3	-7

- 4.2. Un suelo presenta la capa freática a 80 cm de profundidad. No se produce flujo de ningún sentido (potencial hidráulico cte., agua en equilibrio). Calcúlese  $\Psi_g$ ,  $\Psi_m$ ,  $\Psi_h$  y  $\Psi_H$  a las profundidades desde 0, 30, 60, 80, 110 y 150 cm, sin tener en cuenta el  $\Psi_o$ , en centibares. Tómese la superficie del suelo como nivel de referencia ( $Z = 0$ ).



$$\begin{aligned}\Psi_{g_0} &= -h \rightarrow 0 \text{ centibares} \\ \Psi_{g_{30}} &= -h \rightarrow -0,3 \text{ m. c. a} \rightarrow -3 \text{ centibares} \\ \Psi_{g_{60}} &= -h \rightarrow -0,6 \text{ m. c. a} \rightarrow -6 \text{ centibares} \\ \Psi_{g_{80}} &= -h \rightarrow -0,8 \text{ m. c. a} \rightarrow -8 \text{ centibares} \\ \Psi_{g_{110}} &= -h \rightarrow -1,1 \text{ m. c. a} \rightarrow -11 \text{ centibares} \\ \Psi_{g_{150}} &= -h \rightarrow -1,5 \text{ m. c. a} \rightarrow -15 \text{ centibares}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Psi_H &= \text{capa freática} = \\ &= -0,8 \text{ m. c. a.} \rightarrow -8 \text{ centibares}\end{aligned}$$

$$= 0 \text{ m. c. a} \rightarrow 0 \text{ centibares}$$

$$\begin{aligned}\Psi_{m_0} &= \Psi_H - \Psi_{g_0} = \\ &= -0,8 \text{ m. c. a} \rightarrow -8 \text{ centibares}\end{aligned}$$

En saturación  $\Psi_m = 0$

$$\begin{aligned}\Psi_{m_{30}} &= \Psi_H - \Psi_{g_{30}} = \\ &= -0,5 \text{ m. c. a} \rightarrow -5 \text{ centibares}\end{aligned}$$

Por encima de la franja de saturación  $\Psi_h = 0$

$$\begin{aligned}\Psi_{m_{60}} &= \Psi_H - \Psi_{g_{60}} = \\ &= -0,2 \text{ m. c. a} \rightarrow -2 \text{ centibares}\end{aligned}$$

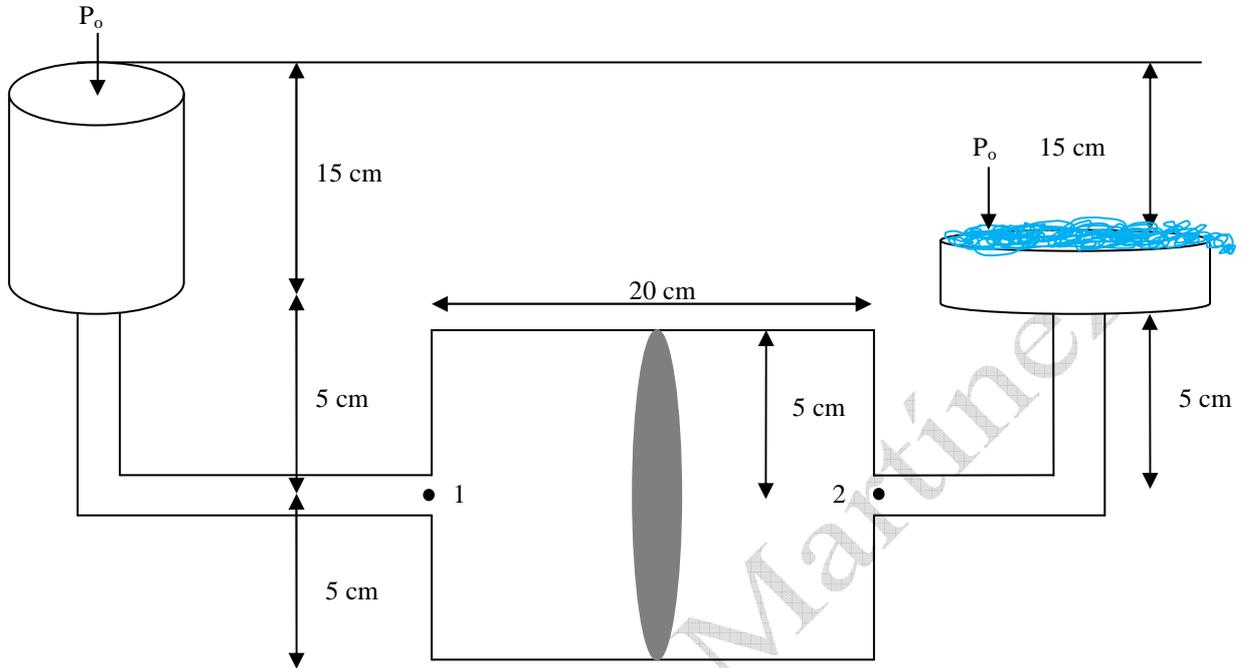
$$\begin{aligned}\Psi_{h_{110}} &= \Psi_{m_{110}} - \Psi_{g_{110}} \rightarrow -0,8 - (-1,1) = \\ &= 0,3 \text{ m. c. a} \rightarrow 3 \text{ centibares}\end{aligned}$$

$$\Psi_{m_{80}} = \Psi_H - \Psi_{g_{80}} =$$

$$\begin{aligned}\Psi_{h_{150}} &= \Psi_{m_{150}} - \Psi_{g_{150}} \rightarrow -0,8 - (-1,5) = \\ &= 0,7 \text{ m. c. a} \rightarrow 7 \text{ centibares}\end{aligned}$$

Profundidad	$\Psi_g$	$\Psi_m$	$\Psi_H$	$\Psi_h$
cm	Centibares			
0	0	-8	-8	0
30	-3	-5	-8	0
60	-6	-2	-8	0
80	-8	0	-8	0
110	-11	0	-8	3
150	-15	0	-8	7

- 4.3. Calcule la conductividad hidráulica de la columna de suelo de la figura suponiendo que con este dispositivo se recoge un volumen de agua de 2,5 L/día. La sección transversal de la columna de suelo es de 78,54 cm<sup>2</sup>.



1. Pasamos el caudal de L/día a cm<sup>3</sup>/día

$$2,5 \text{ L/día} \cdot 1000 \text{ cm}^3/\text{L} = 2500 \text{ cm}^3/\text{día}$$

2. Aplicamos la Ley de Darcy

$$q = -k \cdot \frac{\Delta\Psi_H}{\Delta Z} = \frac{V}{A \cdot t} \quad v/t=Q \rightarrow q = \frac{Q}{A} \rightarrow \frac{2500 \text{ cm}^3/\text{día}}{78,54 \text{ cm}^2} = 31,83 \text{ cm/día}$$

3. Calculamos la distancia entre los puntos 1 y 2

$$\Delta_{z_{1-2}} = 20 \text{ cm}$$

4. Calculamos la diferencia de potencial hidráulico entre los puntos 1 y 2

$$\Psi_{H_1} = \Psi_{g_1} + \Psi_{p_1} \rightarrow \left. \begin{array}{l} \Psi_{p_1} = p_{0A} + (15 + 5) \cdot \gamma_{H_2O} \\ \Psi_{g_1} = 5 \text{ cm} \end{array} \right\} 5 + 20 = 25$$

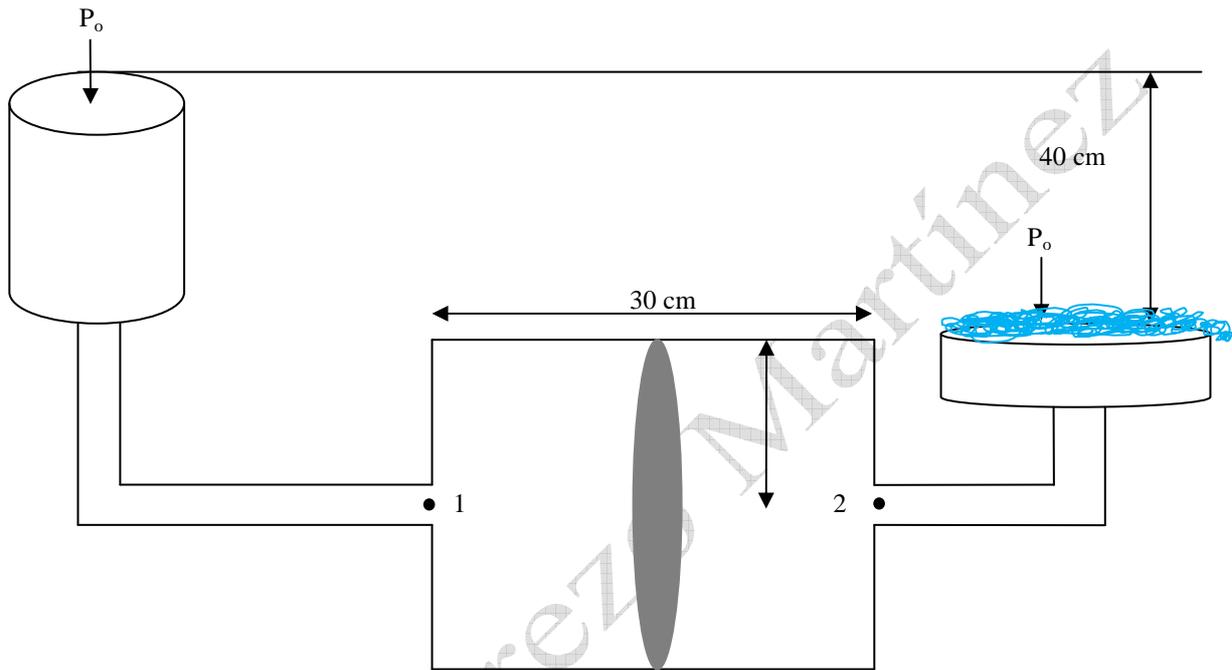
$$\Psi_{H_2} = \Psi_{g_2} + \Psi_{p_2} \rightarrow \left. \begin{array}{l} \Psi_{p_2} = p_{0B} + (5) \cdot \gamma_{H_2O} \\ \Psi_{g_2} = 5 \text{ cm} \end{array} \right\} 5 + 5 = 10$$

$$\Delta\Psi_H = \Psi_{H_2} - \Psi_{H_1} = 10 - 25 = -15 \text{ cm. c. a}$$

5. Sustituimos en la fórmula y obtenemos la unidad de flujo

$$q = -k \cdot \frac{\Delta\Psi_H}{\Delta Z}; 31,83 = -k \cdot \frac{-15}{20} \rightarrow 31,83 = 0,75k \rightarrow k = 42,44 \text{ cm/día}$$

4.4. Calcule la conductividad hidráulica de la columna de suelo de la figura suponiendo que con este dispositivo se recoge un volumen de agua de 4 L/día. La sección transversal de la columna de suelo es de 120 cm<sup>2</sup>.



1. Pasamos el caudal de L/día a cm<sup>3</sup>/día

$$4 \text{ L/día} \cdot 1000 \text{ cm}^3/\text{L} = 4000 \text{ cm}^3/\text{día}$$

2. Aplicamos la Ley de Darcy

$$q = -k \cdot \frac{\Delta\Psi_H}{\Delta Z} = \frac{V}{A \cdot t} \xrightarrow{v/t=q} q = \frac{Q}{A} \rightarrow \frac{4000 \text{ cm}^3/\text{día}}{120 \text{ cm}^2} = 33,33 \text{ cm/día}$$

3. Calculamos la distancia entre los puntos 1 y 2

$$\Delta z_{1-2} = 30 \text{ cm}$$

4. Calculamos el radio de la sección de suelo

$$\pi \cdot r^2 = 120 \text{ cm}^2 \rightarrow \sqrt{\frac{120}{\pi}} = 6,18 \text{ cm}$$

5. Calculamos la diferencia de potencial hidráulico entre los puntos 1 y 2

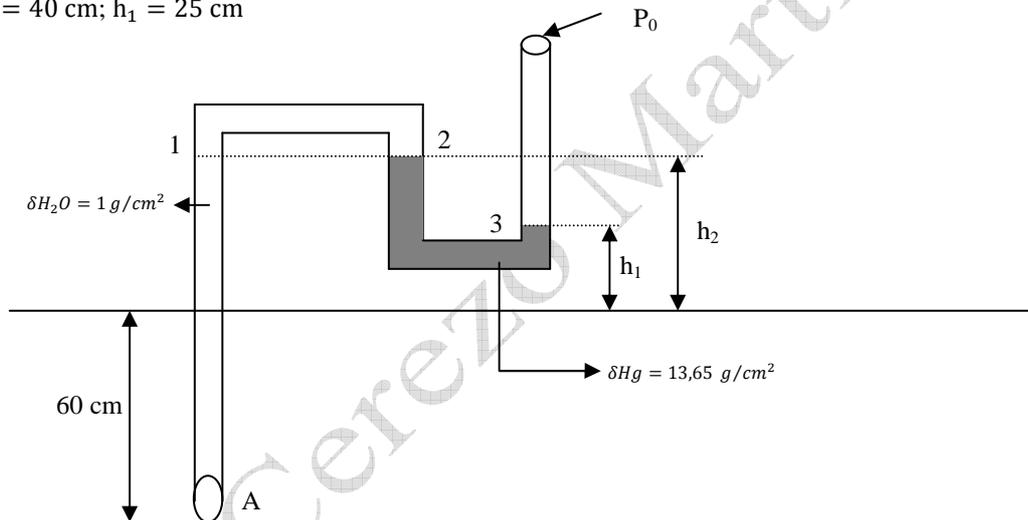
$$\begin{aligned} \Psi_{H_1} = \Psi_{g_1} + \Psi_{p_1} &\rightarrow \left. \begin{aligned} \Psi_{p_1} = p_{0A} + (40 + 6,18) \cdot \gamma_{H_2O} \\ \Psi_{g_1} = 6,18 \text{ cm} \end{aligned} \right\} 6,18 + 40 = 46,18 \\ \Psi_{H_2} = \Psi_{g_2} + \Psi_{p_2} &\rightarrow \left. \begin{aligned} \Psi_{p_2} = p_{0B} + (6,18) \cdot \gamma_{H_2O} \\ \Psi_{g_2} = 6,18 \text{ cm} \end{aligned} \right\} 6,18 + 6,18 = 12,36 \end{aligned}$$

$$\Delta\Psi_H = \Psi_{H_2} - \Psi_{H_1} = 12,36 - 46,18 = -33,82 \text{ m. c. a}$$

6. Sustituimos en la fórmula y obtenemos la unidad de flujo

$$q = -k \cdot \frac{\Delta\Psi_H}{\Delta Z}; 33,33 = -k \cdot \frac{-33,82}{30} \rightarrow 31,83 = 1,13k \rightarrow k = 28,17 \text{ cm/día}$$

4.5. Calcule el potencial hidráulico en A ( $\Psi_{H_A}$ ) siguiendo el dibujo que aparece a continuación. Sabiendo  $h_2 = 40 \text{ cm}$ ;  $h_1 = 25 \text{ cm}$



Nótese que el manómetro en U está abierto a la atmósfera

1. Calculamos el potencial de presión en A

$$\begin{aligned} P_3 &= P_0 \\ P_1 = P_2 &= P_0 - \gamma_{Hg}(h_2 - h_1) \\ P_A &= P_1 + \gamma_{H_2O}(Z_A + h_2) \\ P_A &= P_1 + \gamma_{H_2O}(Z_A + h_2) \rightarrow P_A = P_0 - \gamma_{Hg}(h_2 - h_1) + \gamma_{H_2O}(Z_A + h_2) \rightarrow \\ \rightarrow \frac{P_A - P_0}{\gamma_{H_2O}} &= -\gamma_{Hg}(h_2 - h_1) + (Z_A + h_2) \rightarrow \Psi_{P_A} = -13,65 \cdot (40 - 25) + 60 + 40 = -1,0474 \text{ m. c. a.} \end{aligned}$$

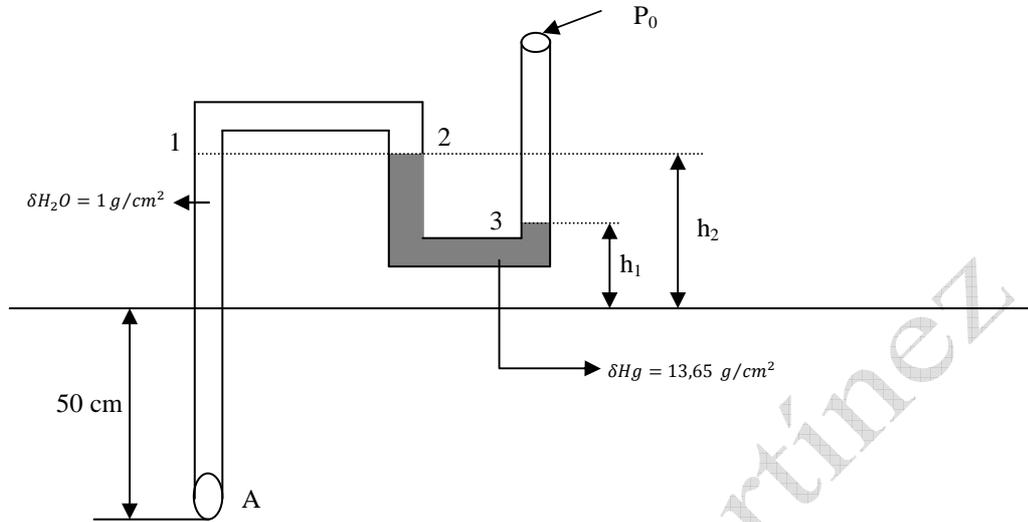
2. Calculamos el potencial gravitatorio

$$\Psi_{g_A} = -0,60 \text{ m. c. a.}$$

3. Calculamos el potencial hidráulico

$$\Psi_{H_A} = \Psi_{g_A} + \Psi_{P_A} = -1,0474 - 0,6 = -1,65 \text{ m. c. a.}$$

- 4.6. [Junio 2015. (0,5)] Calcule el potencial hidráulico en A ( $\Psi_{H_A}$ ) siguiendo el dibujo que aparece a continuación. Sabiendo  $h_2 = 32$  cm;  $h_1 = 25$  cm. Calcule en cm.c.a.



Nótese que el manómetro en U está abierto a la atmósfera

1. Calculamos el potencial de presión en A

$$P_3 = P_0$$

$$P_1 = P_2 = P_0 - \gamma_{Hg}(h_2 - h_1)$$

$$P_A = P_1 + \gamma_{H_2O}(Z_A + h_2)$$

$$P_A = P_1 + \gamma_{H_2O}(Z_A + h_2) \rightarrow P_A = P_0 - \gamma_{Hg}(h_2 - h_1) + \gamma_{H_2O}(Z_A + h_2) \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{P_A - P_0}{\gamma_{H_2O}} = -\delta_{Hg}(h_2 - h_1) + (Z_A + h_2) \rightarrow \Psi_{P_A} = -13,65 \cdot (32 - 25) + 50 + 32 = -13,55 \text{ cm. c. a.}$$

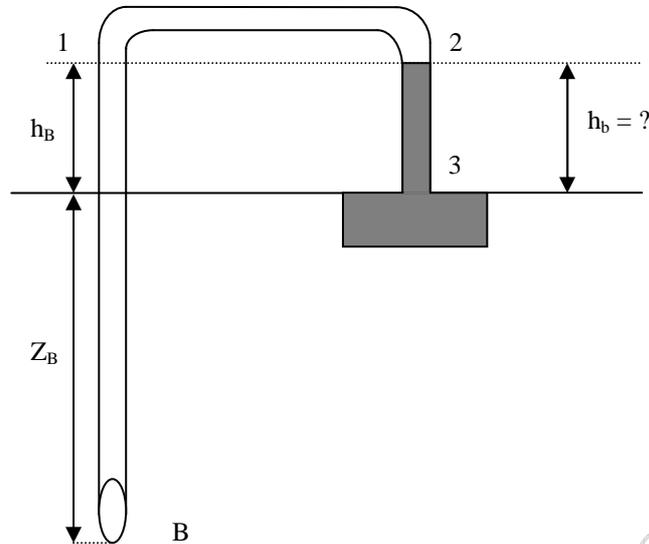
2. Calculamos el potencial gravitatorio

$$\Psi_{g_A} = -50 \text{ cm. c. a.}$$

3. Calculamos el potencial hidráulico

$$\Psi_{H_A} = \Psi_{g_A} + \Psi_{P_A} = -13,55 - 50 = -63,55 \text{ cm. c. a.}$$

- 4.7. El sistema Agua-suelo está en equilibrio, se desea saber la cota de Hg en relación con la superficie del suelo cuando el potencial hidráulico en B ( $\Psi_{HB}$ ) es igual a -20 cbar, y sabiendo que la  $Z_B$  es igual a 100 cm.



Sabemos que  $\Psi_{HB} = -20$  cbar y  $\Psi_{gB} = -10$  cbar, entonces

$$\Psi_{HB} = \Psi_{gB} + \Psi_{pB} = \Psi_{HB} - \Psi_{gB} = \Psi_{pB} \rightarrow \Psi_{pB} = -20 + 10 = -10 \text{ cbar}$$

Con el cambio de unidad a m.c.a.

$$\Psi_{pB} = -1 \text{ m. c. a.}$$

1. Sabiendo el potencial de presión calculamos  $h_B$

$$P_1 = P_2 = P_0 - \gamma_{Hg}(h_B)$$

$$P_B = P_1 + \gamma_{H_2O}(Z_B + h_B)$$

$$P_B = P_1 + \gamma_{H_2O}(Z_B + h_B) \rightarrow P_A = P_0 - \gamma_{Hg}(h_B) + \gamma_{H_2O}(Z_B + h_B) \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{P_B - P_0}{\gamma_{H_2O}} = -\delta_{Hg}(h_B) + (Z_B + h_B) \rightarrow \Psi_{pB} = -13,65 \cdot (h_B) + 1 + h_B \rightarrow$$

$$\rightarrow -1 - 1 = -12,65 \cdot h_B \rightarrow \frac{-2}{-12,65} = h_B \rightarrow h_B = 0,158 \text{ m} = 15,8 \text{ cm}$$

## 6. Problema de agua en el suelo ( $\theta$ )

5.1. Determina la precipitación en mm caída durante la última lluvia con los datos de la siguiente tabla.

Horizonte A	$d_a$	$\theta_g(\%)$	$\theta_v(\%)$	$\theta_v(mm)actual L\theta/Z$	$L\theta$ previa a la lluvia
Antes	1,2	7,67	9,2	92	27,6
Después	1,21	26,39	31,39	313,9	95,79
Horizonte B					
Antes	1,4	11,39	15,95	159,5	111,65
Después	1,38	16,97	23,45	234,5	163,94

A	Antes	27,6	
	Después	95,79	$95,7 - 27,69 = 68,19$
B	Antes	111,65	
	Después	163,94	$163,94 - 111,65 = 52,29$
	Total		$\Sigma = 120,48$

5.2. Problema de agua en el suelo ( $\theta$ ). Expresar los contenidos de  $H_2O$  en el suelo:

- % en base a peso seco ( $\theta_g$ )
- % en base a volumen aparente ( $\theta_v$ )

En las siguientes actuaciones, ambos a capacidad de campo (cc)

- Peso húmedo ( $p_h$ ): 1224,5 g
- Peso seco ( $p_s$ ): 953,8 g

Tras 15 días de alcanzarse la capacidad de campo el peso húmedo fue de 1090,5 g, el muestreo se hizo con una barrena de  $\varnothing = 5 \text{ cm}$  hasta una profundidad de  $Z = 0,4 \text{ m}$ . Dar la lámina de agua en  $L\theta$ , en mm, que corresponde a este suelo, supuesto homogéneo, para la profundidad de 80 cm, en condiciones de capacidad de campo.

Con

- $p_h$ : 1224,5 g
- $p_s$ : 953,8 g

a) Calculamos el contenido gravimétrico de humedad (%)

$$\theta_g = \frac{M_h - M_s}{M_s} \cdot 100 \rightarrow \frac{1224,5 - 953,8}{953,8} \cdot 100 = \boxed{28,38\%}$$

b)

$$\theta_v = \frac{\frac{M_h - M_s}{\delta_{H_2O}}}{V_a(\text{Barrena})} \rightarrow \theta_v = \theta_g \cdot d_a$$

$$d_a = \frac{M_s}{V_T} \xrightarrow{v=s \cdot Z} \frac{M_s}{S \cdot Z} \xrightarrow{s=\frac{\pi \cdot \phi^2}{4}} \frac{M_s}{\left(\frac{\pi \cdot 5^2}{4}\right) \cdot 40} = \frac{953,8}{785,4} = \boxed{1,21 \text{ g/cm}^3}$$

c)

$$\theta_{vcc} = \theta_g \cdot d_a \rightarrow 28,38 \cdot 1,21 = \boxed{34,34\%}$$

d) Con

- p<sub>h</sub>: 1090,5 g
- p<sub>s</sub>: 953,8 g

$$\theta_g = \frac{M_h - M_s}{M_s} \cdot 100 \rightarrow \frac{1090,5 - 953,8}{953,8} \cdot 100 = \boxed{14,33\%}$$

$$\theta_v = \theta_g \cdot d_a \rightarrow 14,33 \cdot 1,21 = \boxed{17,34\%}$$

e)

La conversión de  $\theta_v$  a mm/m de L $\theta$  es multiplicar por 10

Pasamos todos los cm a m

$$Z = 80 \text{ cm} \rightarrow 0,8 \text{ m}$$

$$L\theta = \theta_{vcc} \cdot 10 \cdot Z \rightarrow 34,34 \cdot 10 \cdot 0,8 = 274,2 \text{ mm}$$

5.3. Un suelo se riega obteniendo los siguientes parámetros descritos en la tabla ¿Cuál será la cantidad de agua aplicada? ¿Y su porosidad? Complete la tabla. (Similar ejercicio 5.1.)

Horizonte	Z (m)	Estado	$d_a$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\theta_g$ (%)	$\theta_v$ (%)	L $\theta$ (mm)
A	0,3	Antes	1,2	7,67	9,2	27,6
		Después	1,21	26,39	31,39	95,79
B	0,7	Antes	1,4	11,39	15,95	111,65
		Después	1,38	16,97	23,42	163,94

1. Calculamos el  $\theta_v$

A

Antes

$$\theta_v = \theta_g \cdot d_a = 7,67 \cdot 1,2 = 9,2 \text{ mm}$$

Después

$$\theta_v = \theta_g \cdot d_a = 27,39 \cdot 1,21 = 31,93 \text{ mm}$$

B

Antes

$$\theta_v = \theta_g \cdot d_a = 11,39 \cdot 1,4 = 15,95 \text{ mm}$$

Después

$$\theta_v = \theta_g \cdot d_a = 16,97 \cdot 1,38 = 23,42 \text{ mm}$$

2. Calculamos la lámina de agua  $L\theta$ (mm)

A

Antes

$$L\theta = \theta_v \cdot 10 \cdot Z = 9,2 \cdot 10 \cdot 0,3 = 27,6 \text{ mm}$$

Después

$$L\theta = \theta_v \cdot 10 \cdot Z = 31,39 \cdot 10 \cdot 0,3 = 94,17 \text{ mm}$$

B

Antes

$$L\theta = \theta_v \cdot 10 \cdot Z = 15,95 \cdot 10 \cdot 0,7 = 111,65 \text{ mm}$$

Después

$$L\theta = \theta_v \cdot 10 \cdot Z = 23,42 \cdot 10 \cdot 0,7 = 163,94 \text{ mm}$$

3. Calculamos la varianza de lámina de agua  $\Delta L\theta$ (mm) entre antes y después

Para A

$$\Delta L\theta_A = L\theta_{\text{Antes}} - L\theta_{\text{Después}} = 95,79 - 27,6 = 68,19 \text{ mm}$$

Para B

$$\Delta L\theta_B = L\theta_{\text{Antes}} - L\theta_{\text{Después}} = 163,94 - 111,65 = 68,19 \text{ mm}$$

4. Calculamos la porosidad

A

Antes

$$P = \left(1 - \frac{d_a}{d_r}\right) \cdot 10^4 \text{ m}^2/\text{ha} \cdot Z = \left(1 - \frac{1,2}{2,65}\right) \cdot 10^4 \cdot 0,3 = 1641,51 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Después

$$P = \left(1 - \frac{d_a}{d_r}\right) \cdot 10^4 \text{ m}^2/\text{ha} \cdot Z = \left(1 - \frac{1,21}{2,65}\right) \cdot 10^4 \cdot 0,3 = 1630,19 \text{ m}^3/\text{ha}$$

B

Antes

$$P = \left(1 - \frac{d_a}{d_r}\right) \cdot 10^4 \text{ m}^2/\text{ha} \cdot Z = \left(1 - \frac{1,4}{2,65}\right) \cdot 10^4 \cdot 0,3 = 3301,89 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Después

$$P = \left(1 - \frac{d_a}{d_r}\right) \cdot 10^4 \text{ m}^2/\text{ha} \cdot Z = \left(1 - \frac{1,38}{2,65}\right) \cdot 10^4 \cdot 0,3 = 3354,72 \text{ m}^3/\text{ha}$$

5.4. Problema de agua en el suelo. En una cuenca de 25 ha de propiedades hidrofísicas indicadas en la tabla siguiente, cae una lluvia de 55 mm (p) cuando el suelo tiene la lámina de agua recogida en la tabla. El volumen de agua de escorrentía producido por la tormenta en la cuenca fue de 6 mm (p) y el volumen de sedimentos en la cuenca de 4 g/l

Profundidad a la que penetra la lluvia, suponiendo que el agua infiltrada y redistribuida lleva al espesor de suelo mojado a capacidad de campo. **Nota:** Despreciar pérdidas por evapotranspiración.

Espesor de suelo erosionado por la tormenta, suponiendo que este ha sido uniforme.

$\theta_v$ (mm/m) actual $L\theta/z$	Z (m)	$\theta_{vcc}$ (%)	$d_a$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\theta_{vpm}$ (%)	$\theta L$ previa a la lluvia (mm/capa)
$60,4/0,4 = 151$	0,4	20,3	1,45	8,70	60,40
$71,8/0,25 = 287,2$	0,25	38,13	1,40	18,45	71,80
$111,2/0,35 = 317,7$	0,35	40,60	1,35	19,72	111,2

a) Calculamos el agua de infiltración

- Agua caída en la cuenca (Precipitación)

$$P = 55 \text{ mm} = 550 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot S_{\text{cuenca}} \rightarrow 550 \cdot 25 = \boxed{13750 \text{ m}^3/\text{cuenca}}$$

- Volumen esorrentía

$$V_{\text{esc}} = 6 \text{ mm} = 60 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot S_{\text{cuenca}} \rightarrow 60 \cdot 25 = \boxed{1500 \text{ m}^3/\text{cuenca}}$$

- Agua infiltrada

$$A_{\text{inf}} = P - V_{\text{esc}} \rightarrow 13750 - 1500 = \boxed{12250 \text{ m}^3/\text{cuenca}}$$

- Lamida de agua infiltrada

$$L\theta_{\text{inf}} = 12250 \text{ m}^3/\text{cuenca} \cdot 1/25 \text{ ha} \rightarrow 490 \text{ m}^3/\text{ha} = \boxed{49 \text{ mm}}$$

b) Cantidad necesaria de contenido húmedo para llenar una capa de suelo de agua

- Capa 1

$$L\theta_1(\text{mm}) = (\theta_{v_{\text{cc}}} \cdot 10 - \theta_{v_{\text{actual}}}) \cdot Z \rightarrow (20,3 \cdot 10 - 151) \cdot 0,4 = \boxed{20,8 \text{ mm}}$$

- Capa 2

$$L\theta_2(\text{mm}) = (\theta_{v_{\text{cc}}} \cdot 10 - \theta_{v_{\text{actual}}}) \cdot Z \rightarrow (38,13 \cdot 10 - 287,2) \cdot 0,25 = \boxed{23,52 \text{ mm}}$$

- Capa 3

$$L\theta_2(\text{mm}) = (\theta_{v_{\text{cc}}} \cdot 10 - \theta_{v_{\text{actual}}}) \cdot Z \rightarrow (40,6 \cdot 10 - 317,7) \cdot 0,35 = \boxed{30,91 \text{ mm}}$$

Como la  $L\theta_{\text{inf}} = 49 \text{ mm}$

$$L\theta_{\text{inf}} - \text{Capa 1} = 49 - 20,8 = 28,2 \text{ mm}$$

$$\text{Resto} - \text{Capa 2} = 28,2 - 23,52 = 4,68 \text{ mm} \rightarrow \text{llegan a la capa 3 sin saturarla}$$

Buscamos la Z a la que llega la lluvia en la capa 3

$$L\theta(\text{mm}) = (\theta_{v_{\text{cc}}} \cdot 10 - \theta_{v_{\text{actual}}}) \cdot Z \xrightarrow{\text{Despejamos } z} Z = \frac{4,68}{406 - 317,7} \rightarrow Z = 0,053 \text{ m} = 5,3 \text{ cm}$$

c) Como nos da la cantidad de sedimentos por litro que se ha erosionando, entonces:

$$\begin{aligned}
 M &= [\text{sedimentos}] \cdot v_{\text{esc}} \rightarrow 4 \text{ g/l} \cdot \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} \cdot 1500 \text{ m}^3/\text{cuenca} = 6.000.000 \text{ g/cuenca} = 6 \text{ Tn/cuenca} \rightarrow \\
 &\rightarrow \frac{6 \text{ Tn/cuenca}}{25 \text{ ha/cuenca}} \rightarrow 0,24 \text{ Tn/ha}
 \end{aligned}$$

- Suponemos que la erosión se produce en la 1ª capa, por tanto, la  $d_a$  es  $(1,45 \text{ g/cm}^3) = (1,45 \text{ Tn/m}^3)$

---


$$*\theta_{v_{\text{actual}}} = \frac{\theta L}{Z}$$

- Sustituimos por la fórmula

$$d_a = \frac{M_t}{V_a} \rightarrow V_a(m^3/ha) = \frac{M_t}{d_a} \rightarrow \frac{0,24 \text{ Tn/ha}}{1,45 \text{ Tn/m}^3} = 0,165 \text{ m}^3/ha$$

- Hallamos la profundidad erosionada

$$V_a(m^3) = S_{erosion}(m^2) \cdot Z(m) \xrightarrow{1 \text{ ha}} 0,165 = 10.000 \cdot Z \rightarrow \frac{0,165}{10.000} = Z \rightarrow 0,165 \cdot 10^{-5} m \rightarrow$$

$$\rightarrow 1,65 \cdot 10^{-2} mm \rightarrow \boxed{Z = 0,02 mm}$$

- 5.5. Determinar la profundidad a la que penetraría una lluvia de 100 mm si momentos antes el suelo se encontrase en el contenido de humedad indicado

Textura	Z (m)	$\theta_{v_{actual}}$ (%)	$\theta_{v_{cc}}$ (%)	$\theta_v(mm/m)$ actual $L\theta/z$
Franco-arcillosa	0,4	5,88	21,00	23,52
Arcillo-limosa	0,25	12,71	40,3	31,78
Arcilla	0,35	13,71	43,3	47,98

- a) Calculamos la lámina de agua  $L\theta$  previa a la lluvia

- Capa 1

$$L\theta_{Actual 1}(mm) = \theta_{v_{actual 1}} \cdot 10 \cdot Z \rightarrow 5,88 \cdot 10 \cdot 0,4 = \boxed{22,52 \text{ mm}}$$

- Capa 2

$$L\theta_{Actual 2}(mm) = \theta_{v_{actual 2}} \cdot 10 \cdot Z \rightarrow 12,71 \cdot 10 \cdot 0,25 = \boxed{31,78 \text{ mm}}$$

- Capa 3

$$L\theta_{Actual 3}(mm) = \theta_{v_{actual 3}} \cdot 10 \cdot Z \rightarrow 13,71 \cdot 10 \cdot 0,35 = \boxed{47,98 \text{ mm}}$$

- b) Calculamos la lámina de agua a capacidad de campo

- Capa 1

$$L\theta_{cc 1}(mm) = \theta_{v_{cc 1}} \cdot 10 \cdot Z \rightarrow 21 \cdot 10 \cdot 0,4 = \boxed{84 \text{ mm}}$$

- Capa 2

$$L\theta_{cc 2}(mm) = \theta_{v_{cc 2}} \cdot 10 \cdot Z \rightarrow 40,3 \cdot 10 \cdot 0,25 = \boxed{100,75 \text{ mm}}$$

- Capa 3

$$L\theta_{cc 3}(mm) = \theta_{v_{cc 3}} \cdot 10 \cdot Z \rightarrow 43,3 \cdot 10 \cdot 0,35 = \boxed{151,55 \text{ mm}}$$

c) Calculamos la cantidad necesaria de contenido húmedo para llenar una capa de suelo de agua

- Capa 1

$$L\theta_1(\text{mm}) = L\theta_{cc1} - L\theta_{\text{Actual } 1} \rightarrow 84 - 23,52 = \boxed{60,48 \text{ mm}}$$

- Capa 2

$$L\theta_2(\text{mm}) = L\theta_{cc2} - L\theta_{\text{Actual } 2} \rightarrow 100,75 - 31,78 = \boxed{68,97 \text{ mm}}$$

- Capa 3

$$L\theta_3(\text{mm}) = L\theta_{cc3} - L\theta_{\text{Actual } 3} \rightarrow 153,3 - 48,23 = \boxed{105,07 \text{ mm}}$$

Como la  $L\theta_{\text{inf}} = 100 \text{ mm}$

$L\theta_{\text{inf}} - \text{Capa 1} = 100 - 60,48 = 39,52 \text{ mm} \rightarrow$  llega a la 2 capa sin saturarla

- Buscamos la  $z$  a la que llega la lluvia en la 2 capa

$$z = \frac{L\theta}{L\theta_2} \cdot z_{\text{total}} \rightarrow \frac{39,52}{68,97} \cdot 0,25 = 0,14 \text{ m}$$

$$\text{Penetra a capa 1 + capa 2} = 0,4 + 0,14 = \boxed{0,54 \text{ m}}$$

5.6. En una cuenca de 35 ha de propiedades hidrofísicas indicadas en la tabla siguiente, cae una lluvia de 65 mm (p) cuando el suelo tiene una lámina de agua recogida en la tabla. El volumen de agua de escorrentía producido por la tormenta en la cuenca fue  $9250 \text{ m}^3$  ( $V_{\text{esc}}$ ) y el volumen de sedimentos en la cuenca es de 5,75 g/l

Profundidad a la que penetra la lluvia, suponiendo que el agua infiltrada y redistribuida lleva al espesor de suelo mojado a capacidad de campo. **Nota:** Despreciar pérdidas por evapotranspiración.

Espesor de suelo erosionado por la tormenta, suponiendo que es uniforme.

Z (m)	$\theta_{vcc}$ (%)	$da(g/cm^3)$	$\theta_{vpm}$ (%)	$\theta L$ previa a la lluvia (mm/capa)
0,4	20,3	1,4	8,70	60,40
0,25	38,13	?	18,45	71,80
0,35	40,60	?	19,72	111,2

a) Primero debemos calcular el  $\theta_v$  (mm/m) actual a través de  $\theta L/Z$

$\theta_v$ (mm/m) actual
$60,4/0,4 = 151$
$71,8/0,25 = 287,2$
$111,2/0,35 = 317,7$

b) Calculamos la infiltración

- Agua caída en la cuenca (Precipitación)

$$P = 65 \text{ mm} = 650 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot S_{\text{cuenca}} \rightarrow 65 \cdot 35 = \boxed{22750 \text{ m}^3/\text{cuenca}}$$

- Volumen esorrentía (ya dado)

$$V_{\text{esc}} = \boxed{9250 \text{ m}^3/\text{cuenca}}$$

- Agua infiltrada

$$A_{\text{inf}} = P - V_{\text{esc}} \rightarrow 22750 - 9250 = \boxed{13500 \text{ m}^3/\text{cuenca}}$$

- Lamina de agua infiltrada

$$L\theta_{\text{inf}} = 13500 \text{ m}^3/\text{cuenca} \cdot 1/35 \text{ ha} \rightarrow 385,71 \text{ m}^3/\text{ha} = \boxed{38,57 \text{ mm}}$$

d) Cantidad necesaria de contenido húmedo para llenar una capa de suelo de agua

- Capa 1

$$L\theta_1(\text{mm}) = (\theta_{v_{\text{cc}}} \cdot 10 - \theta_{v_{\text{actual}}}) \cdot Z \rightarrow (20,3 \cdot 10 - 151) \cdot 0,4 = \boxed{20,8 \text{ mm}}$$

- Capa 2

$$L\theta_2(\text{mm}) = (\theta_{v_{\text{cc}}} \cdot 10 - \theta_{v_{\text{actual}}}) \cdot Z \rightarrow (38,13 \cdot 10 - 287,2) \cdot 0,25 = \boxed{23,52 \text{ mm}}$$

- Capa 3

$$L\theta_3(\text{mm}) = (\theta_{v_{\text{cc}}} \cdot 10 - \theta_{v_{\text{actual}}}) \cdot Z \rightarrow (40,6 \cdot 10 - 317,7) \cdot 0,35 = \boxed{30,91 \text{ mm}}$$

Como la  $L\theta_{\text{inf}} = 38,57 \text{ mm}$

$$L\theta_{\text{inf}} - \text{Capa 1} = 38,57 - 20,8 = 17,77 \text{ mm} \rightarrow \text{Llega hasta la 2}^\circ \text{ capa sin saturarla}$$

Buscamos la Z a la que llega la lluvia en la capa 2

$$L\theta(\text{mm}) = (\theta_{v_{\text{cc}}} \cdot 10 - \theta_{v_{\text{actual}}}) \cdot Z \xrightarrow{\text{Despejamos } z} Z = \frac{17,77}{381,3 - 287,2} \rightarrow Z = 0,19 \text{ m}$$

e) Como nos da la cantidad de sedimentos por litro que se ha erosionando, entonces:

$$\begin{aligned}
 M &= [\text{sedimentos}] \cdot v_{\text{esc}} \rightarrow 5,75 \text{ g/l} \cdot \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} \cdot 9250 \text{ m}^3/\text{cuenca} = 53187.500 \text{ g/cuenca} = 53,19 \text{ Tn/cuenca} \rightarrow \\
 &\rightarrow \frac{53,17 \text{ Tn/cuenca}}{35 \text{ ha/cuenca}} \rightarrow 1,52 \text{ Tn/ha}
 \end{aligned}$$

- Suponemos que la erosión se produce en la 1ª capa, por tanto, la  $d_a$  es  $(1,4 \text{ g/cm}^3) = (1,4 \text{ Tn/m}^3)$
- Sustituimos por la fórmula

$$d_a = \frac{M_t}{V_a} \rightarrow V_a (\text{m}^3/\text{ha}) = \frac{M_t}{d_a} \rightarrow \frac{1,52 \text{ Tn/ha}}{1,4 \text{ Tn/m}^3} = 1,085 \text{ m}^3/\text{ha}$$

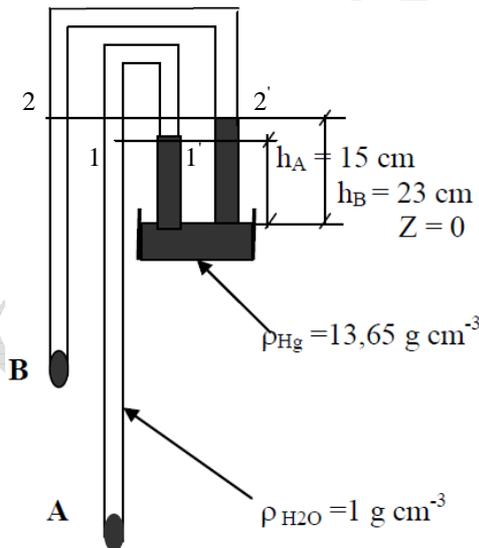
- Hallamos la profundidad erosionada

$$V_a (\text{m}^3) = S_{\text{erosion}} (\text{m}^2) \cdot Z (\text{m}) \xrightarrow{1 \text{ ha}} 0,165 = 10.000 \cdot Z \rightarrow \frac{1,085}{10.000} = Z \rightarrow 1,085 \cdot 10^{-4} \text{ m} \rightarrow \\ \rightarrow 1,085 \cdot 10^{-1} \text{ mm} \rightarrow \boxed{Z = 0,11 \text{ mm}}$$

## 7. Tensiómetros

- 6.1. Determine el sentido de flujo del agua del suelo entre los puntos A y B a partir de los valores  $\Psi_{HA}$  y  $\Psi_{HB}$ . Sabiendo que las cápsulas cerámicas porosas A y B están situadas a 60 y 30 cm de profundidad y que las columnas de Hg de los tensiómetros B y A alcanzan una altura sobre la superficie del suelo 23 y 15 cm respectivamente. Tómese la superficie del suelo como plano de referencia y exprese los valores de  $\Psi$  en m.c.a.

Calcule el valor de la descarga específica o flujo de agua en el suelo bajo esta situación, sabiendo que la conductividad hidráulica ( $k$ ) es igual a  $1,6 \cdot 10^{-4} \text{ cm/h}$ .



Calculamos el potencial de presión en B

$$P_2 = P_2' \rightarrow P_2 = P_0 - h_B \cdot \gamma_{hg} \\ P_B = P_2 + \gamma_{H_2O}(Z_B + h_B) \\ P_B = P_0 - h_B \cdot \gamma_{hg} + \gamma_{H_2O}(Z_B + h_B) \rightarrow P_B - P_0 = -h_B \cdot \gamma_{hg} + \gamma_{H_2O}(Z_B + h_B) \rightarrow \\ \rightarrow \frac{P_B - P_0}{\gamma_{H_2O}} = -0,23 \cdot \delta_{hg} + 0,3 + 0,23 \rightarrow \Psi_{P_B} = -0,23 \cdot 13,65 + 0,3 + 0,25 = -2,61 \text{ m. c. a.}$$

Calculamos el potencial hidráulico en B

$$\Psi_{HB} = \Psi_{gB} + \Psi_{PB} \rightarrow -0,30 + (-2,61) = -2,91 \text{ m. c. a.}$$

Calculamos el potencial de presión en A

$$\begin{aligned}
 P_1 &= P_1' \rightarrow P_1 = P_0 - h_A \cdot \gamma_{hg} \\
 P_A &= P_1 + \gamma_{H_2O}(Z_A + h_A) \\
 P_A &= P_0 - h_A \cdot \gamma_{hg} + \gamma_{H_2O}(Z_A + h_A) \rightarrow P_A - P_0 = -h_A \cdot \gamma_{hg} + \gamma_{H_2O}(Z_A + h_A) \rightarrow \\
 \rightarrow \frac{P_A - P_0}{\gamma_{H_2O}} &= -h_A \cdot \delta_{hg} + Z_A + h_A \rightarrow \Psi_{PA} = (-0,15 \cdot 13,65) + (0,6 + 0,15) = -1,3 \text{ m. c. a.}
 \end{aligned}$$

Calculamos el potencial hidráulico en A

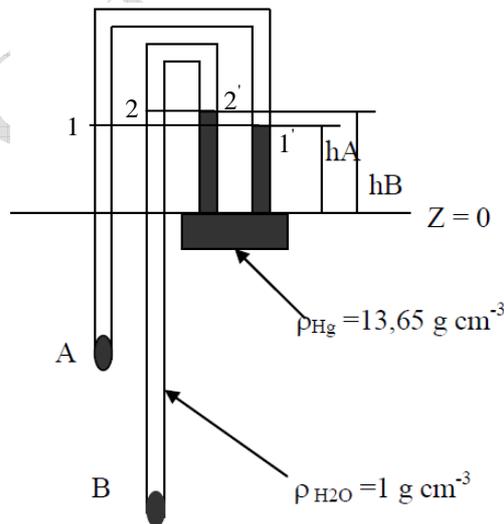
$$\Psi_{HA} = \Psi_{GA} + \Psi_{PA} \rightarrow -0,60 + (-1,3) = -1,9 \text{ m. c. a.}$$

Cálculo de la descarga específica

$$q = k \cdot \frac{\Delta\Psi_H}{\Delta Z} = k \cdot \frac{\Psi_{HA} - \Psi_{HB}}{Z_A - Z_B} \rightarrow 1,6 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{-1,90 - (-2,91)}{0,6 - 0,3} = 5,38 \cdot 10^{-4} \text{ cm/h}$$

$q > 0$  *flujo ascendente*

- 6.2. Determine el sentido del flujo del agua del suelo entre los puntos A y B a partir de los valores del  $\Psi_{HA}$  y  $\Psi_{HB}$ . Sabiendo que las cápsulas cerámicas porosas A y B están situadas a 45 y 70 cm de profundidad y que las columnas de Hg de los tensiómetros A y B alcanzan una altura sobre la superficie del suelo de 15 y 23 cm respectivamente. Tómese la superficie del suelo como plano de referencia y exprese los valores de  $\Psi$  en m.c.a. Calcule el valor de la descarga específica o flujo de agua en el suelo bajo esta situación, sabiendo que la conductividad hidráulica (k) es igual a  $1,6 \cdot 10^{-4}$  cm/h.



Calculamos el potencial de presión en A

$$\begin{aligned}
 P_1 &= P_1' \rightarrow P_1 = P_0 - h_A \cdot \gamma_{hg} \\
 P_A &= P_1 + \gamma_{H_2O}(Z_A + h_A) \\
 P_A &= P_0 - h_A \cdot \gamma_{Hg} + \gamma_{H_2O}(Z_A + h_A) \rightarrow P_A - P_0 = -h_A \cdot \gamma_{Hg} + \gamma_{H_2O}(Z_A + h_A) \rightarrow
 \end{aligned}$$

$$\rightarrow \frac{P_A - P_0}{\gamma_{H_2O}} = -h_A \cdot \delta_{hg} + Z_A + h_A \rightarrow \Psi_{P_A} = (-0,15 \cdot 13,65) + (0,45 + 0,15) = -1,45 \text{ m. c. a.}$$

Calculamos el potencial hidráulico en A

$$\Psi_{H_A} = \Psi_{g_A} + \Psi_{P_A} \rightarrow -0,45 + (-1,45) = -1,9 \text{ m. c. a.}$$

Calculamos el potencial de presión en B

$$\begin{aligned} P_2 &= P_2' \rightarrow P_2 = P_0 - h_B \cdot \gamma_{hg} \\ P_B &= P_2 + \gamma_{H_2O}(Z_B + h_B) \\ P_B &= P_0 - h_B \cdot \gamma_{hg} + \gamma_{H_2O}(Z_B + h_B) \rightarrow P_B - P_0 = -h_B \cdot \gamma_{hg} + \gamma_{H_2O}(Z_B + h_B) \rightarrow \\ \rightarrow \frac{P_B - P_0}{\gamma_{H_2O}} &= -h_B \cdot \delta_{hg} + Z_B + h_B \rightarrow \Psi_{P_B} = (-0,23 \cdot 13,65) + (0,7 + 0,23) = -2,21 \text{ m. c. a.} \end{aligned}$$

Calculamos el potencial hidráulico en B

$$\Psi_{H_B} = \Psi_{g_B} + \Psi_{P_B} \rightarrow -0,7(-2,21) = -2,91 \text{ m. c. a.}$$

Cálculo de la descarga específica

$$q = K \cdot \frac{\Delta \Psi}{\Delta Z} = k \cdot \frac{\Psi_{H_A} - (-\Psi_{H_B})}{Z_A - Z_B} \rightarrow 1,6 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{-1,90 - (-2,91)}{0,45 - 0,70} = -6,464 \cdot 10^{-4} \text{ cm/h}$$

$q < 0$  flujo descendente

- 6.3. Halle el gradiente de potencial hidráulico entre los puntos A y B. Los puntos A y B se encuentran a 60 y 130 cm de profundidad. ¿Cuál es el sentido del flujo? ¿Por qué? ¿Bajo el supuesto de una conductividad hidráulica (k) igual a  $1,4 \times 10^{-4} \text{ cm h}^{-1}$ , cuál será el valor de la descarga específica en cada situación?

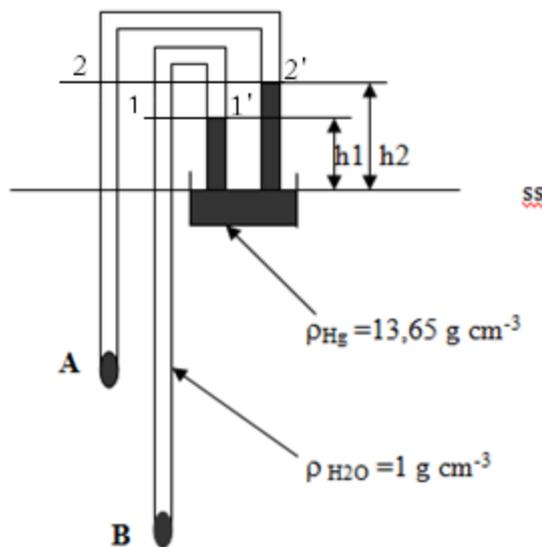


Figura 1

**Datos:**  $h_1=20 \text{ cm}$ ;  $h_2=30 \text{ cm}$  Exprese los potenciales en cm.c.a  
Nótese que el manómetro en U de la figura 2 está abierto a la atmósfera.

Calculamos el potencial de presión en B

$$P_B = P_1 + \gamma_{H_2O}(Z_B + h_1)$$

$$P_1 = P_1' \rightarrow P_1 = P_0 - h_1 \cdot \gamma_{hg}$$

$$P_B = P_0 - h_1 \cdot \gamma_{hg} + \gamma_{H_2O}(Z_B + h_1) \rightarrow \frac{P_B - P_0}{\gamma_{H_2O}} = -h_1 \cdot \delta_{hg} + (Z_B + h_1) \rightarrow$$

$$\rightarrow \Psi_{P_B} = (-20 \cdot 13,65) + (130 + 20) = -123 \text{ cm. c. a.}$$

Calculamos el potencial hidráulico en B

$$\Psi_{H_B} = \Psi_{g_B} + \Psi_{P_B} \rightarrow -130 - 123 = -253 \text{ cm. c. a.}$$

Calculamos el potencial de presión en A

$$P_2 = P_2' \rightarrow P_2 = P_0 - h_2 \cdot \gamma_{hg}$$

$$P_A = P_2 + \gamma_{H_2O}(Z_A + h_2)$$

$$P_A = P_0 - h_2 \cdot \gamma_{hg} + \gamma_{H_2O}(Z_A + h_2) \rightarrow \frac{P_A - P_0}{\gamma_{H_2O}} = -h_2 \cdot \delta_{hg} + (Z_A + h_2) \rightarrow$$

$$\rightarrow \Psi_{P_A} = (-30 \cdot 13,65) + (60 + 30) = -319,5 \text{ cm. c. a.}$$

Calculamos el potencial hidráulico en A

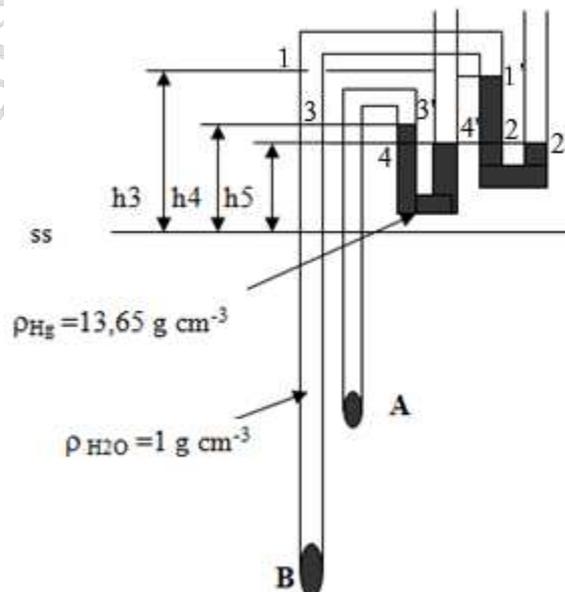
$$\Psi_{H_A} = \Psi_{g_A} + \Psi_{P_A} \rightarrow -60 - 319,5 = -379,5 \text{ cm. c. a.}$$

Cálculo de la descarga específica

$$q = K \cdot \frac{\Delta \Psi}{\Delta Z} = k \cdot \frac{\Psi_{H_A} - (-\Psi_{H_B})}{Z_A - Z_B} \rightarrow 1,4 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{-379,5 - (-319,5)}{60 - 130} = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ cm/h}$$

$$q > 0 \text{ flujo ascendente}$$

- 6.4. Halle el gradiente de potencial hidráulico entre los puntos A y B. Los puntos A y B se encuentran a 60 y 130 cm de profundidad en idéntica vertical. ¿Cuál es el sentido del flujo? ¿Por qué? ¿Bajo el supuesto de una conductividad hidráulica (k) igual a  $1,4 \times 10^{-4} \text{ cm h}^{-1}$ , cuál será el valor de la descarga específica en cada situación?



**Datos:**  $h_3=40$  cm;  $h_4=30$ cm;  $h_5= 25$ cm. Expresar los potenciales en cm.c.a  
 Nótese que el manómetro en U de la figura 2 está abierto a la atmósfera.

Calculamos el potencial de presión en A

$$\begin{aligned}
 P_4 &= P_4' = P_0 \\
 P_3 &= P_3' = P_4 - (h_4 - h_5)\gamma_{Hg} \\
 P_A &= P_3 + (h_4 + Z_A)\gamma_{H_2O} \rightarrow P_A = P_0 - (h_4 - h_5)\gamma_{Hg} + (h_4 + Z_A)\gamma_{H_2O} \rightarrow \\
 \rightarrow \frac{P_A - P_0}{\gamma_{H_2O}} &= -(h_4 - h_5)\delta_{Hg} + (h_4 + Z_A) \rightarrow \Psi_{P_A} = -13,65 \cdot (30 - 25) + 30 + 60 = 21,75 \text{ cm. c. a.}
 \end{aligned}$$

Calculamos el potencial hidráulico en A

$$\Psi_{H_A} = \Psi_{g_A} + \Psi_{P_A} = -60 + 21,75 = -38,75 \text{ cm. c. a}$$

Calculamos el potencial de presión en B

$$\begin{aligned}
 P_2 &= P_2' = P_0 \\
 P_1 &= P_1' = P_2 - (h_3 - h_5)\gamma_{Hg} \\
 P_B &= P_1 + (h_3 + Z_B)\gamma_{H_2O} \rightarrow P_B = P_0 - (h_3 - h_5)\gamma_{Hg} + (h_3 + Z_B)\gamma_{H_2O} \rightarrow \\
 \rightarrow \frac{P_B - P_0}{\gamma_{H_2O}} &= -(h_3 - h_5)\delta_{Hg} + (h_3 + Z_B) \rightarrow \Psi_{P_B} = -13,65 \cdot (40 - 25) + 40 + 130 = -34,75 \text{ cm. c. a}
 \end{aligned}$$

Calculamos el potencial hidráulico en B

$$\Psi_{H_B} = \Psi_{g_B} + \Psi_{P_B} = -130 - 34,75 = -164,75 \text{ cm. c. a}$$

Cálculo de la descarga específica

$$q = K \cdot \frac{\Delta\Psi}{\Delta Z} = k \cdot \frac{\Psi_{H_A} - (\Psi_{H_B})}{Z_A - Z_B} \rightarrow 1,4 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{-38,75 - (-164,75)}{60 - 130} = -2,532 \cdot 10^{-4} \text{ cm/h}$$

$q < 0$  flujo descendente

## 8. Diseño agronómico

7.1. Determine el tiempo de aplicación en horas para el sistema de riego por goteo del supuesto siguiente

- Cultivo hortícola con un coeficiente de cultivo  $k_c = 1,1$
- Caudal del emisor  $q_e = 2L/h$
- Disposición de los emisores  $S_L \cdot S_e = 2 \cdot 0,5$  m (Distancia lateral · separación entre emisores)
- Evaporación del agua en el tanque evaporímetro  $E_{pan} = 8,5$  mm/día
- Coeficiente del tanque  $k_p = 0,8$
- Coeficiente de riego (coeficiente de localización)  $k_r = 0,7$
- Requerimiento de lavado  $RL = 0,1$
- Coeficiente de uniformidad  $CU = 0,9$  y eficiencia de aplicación  $E_a = 0,9$
- Intervalo de lavado  $I = 1$  día

1. Calculamos la tasa de evaporación de referencia

$$ET_o = E_{pan} \cdot k_p \rightarrow ET_o = 8,5 \text{ mm/día} \cdot 0,8 \rightarrow ET_o = 6,8 \text{ mm/día}$$

2. Calculamos la tasa de evaporación del cultivo

$$ET_c = ET_o \cdot k_c \rightarrow ET_c = 6,8 \cdot 1,1 \rightarrow ET_c = 7,48 \text{ mm/día}$$

3. Calculamos la tasa de evaporación para riego por goteo

$$ET_{cg} = ET_c \cdot k_r \rightarrow ET_{cg} = 7,48 \cdot 0,7 \rightarrow ET_{cg} = 5,24 \text{ mm/día}$$

4. Calculamos la dosis neta

$$D_n = ET_{cg} \cdot I \rightarrow 5,24 \cdot 1 \rightarrow D_n = 5,24 \text{ mm/día}$$

5. Calculamos la dosis bruta, la mayor de las siguientes relaciones

$$D_b = \frac{D_n}{(1 - RL) \cdot CU} \rightarrow D_b = \frac{5,24}{(1 - 0,1) \cdot 0,9} \rightarrow D_b = 6,47 \text{ mm/día}$$

$$D_b = \frac{D_n}{E_a \cdot CU} \rightarrow D_b = \frac{5,24}{0,9 \cdot 0,9} \rightarrow D_b = 6,47 \text{ mm/día}$$

Ambos iguales

6. Calculamos la dosis del emisor

$$D_e = \frac{q_e \text{ (L/h)}}{S_L \cdot S_e \text{ (m}^2\text{)}} \rightarrow \frac{2 \text{ L/h}}{2 \cdot 0,5 \text{ m}^2} \rightarrow D_e = 2 \text{ mm/h}$$

7. Calculamos el tiempo de aplicación

$$t_a = \frac{D_b}{D_e} \rightarrow \frac{6,47 \text{ mm/día}}{2 \text{ mm/h}} \rightarrow t_a = 3,24 \text{ h/día}$$

- 7.2. Determine el tiempo de aplicación en horas para el sistema de riego por goteo del supuesto siguiente

- Cultivo hortícola con un coeficiente de cultivo  $k_c = 0,9$
- Caudal del emisor  $q_e = 1,8 \text{ L/h}$
- Disposición de los emisores  $S_L \cdot S_e = 1,25 \cdot 0,4 \text{ m}$  (Distancia lateral · separación entre emisores)
- Tasa de evaporación de referencia  $ET_o = 4,5 \text{ mm/día}$
- Coeficiente de riego (coeficiente de localización)  $k_r = 0,7$
- Requerimiento de lavado  $LR = 0,16$
- Coeficiente de uniformidad  $CU = 0,9$  y eficiencia de aplicación  $E_a = 0,9$
- Intervalo de lavado  $I = 0,5 \text{ día}$

1. Calculamos la tasa de evaporación del cultivo con riego por goteo

$$ET_{cg} = ET_o \cdot k_c \cdot k_r \rightarrow ET_{cg} = 4,5 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \rightarrow ET_{cg} = 2,84 \text{ mm/día}$$

2. Calculamos la dosis neta

$$D_n = ET_{cg} \cdot I \rightarrow 2,84 \cdot 0,5 \rightarrow D_n = 1,42 \text{ mm/día}$$

3. Calculamos la dosis bruta, la mayor de las siguientes relaciones

$$D_b = \frac{D_n}{(1 - RL) \cdot CU} \rightarrow D_b = \frac{1,42}{(1 - 0,16) \cdot 0,9} \rightarrow D_b = 1,88 \text{ mm/día}$$

$$D_b = \frac{D_n}{E_a \cdot CU} \rightarrow D_b = \frac{1,42}{0,9 \cdot 0,9} \rightarrow D_b = 1,75 \text{ mm/día}$$

Elegimos el de  $D_b = 1,88 \text{ mm/día}$

4. Calculamos la dosis del emisor

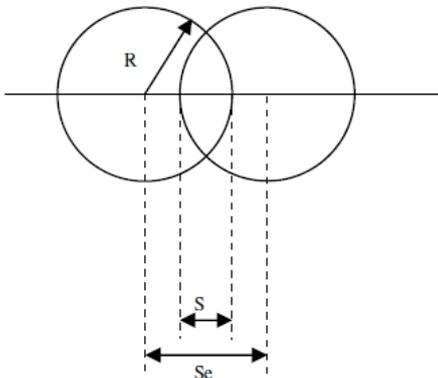
$$D_e = \frac{q_e(L/h)}{S_L \cdot S_e(m^2)} \rightarrow \frac{1,8L/h}{1,25 \cdot 0,4 m^2} \rightarrow D_e = 3,6 \frac{mm}{h}$$

5. Calculamos el tiempo de aplicación

$$t_a = \frac{D_b}{D_e} \rightarrow \frac{3,6 \text{ mm/día}}{1,88 \text{ mm/h}} \rightarrow t_a = 1,92 \text{ h/día}$$

- 7.3. Calcular el nº de goteros por planta y represente su disposición en campo

- Marco de plantación 4 x 5 m
- Suelo medio (franco)
- Caudal del emisor  $q_e = 4 \text{ L/h}$
- Solape entre bulbos del 15%
- Mínimo de suelo mojado 35%



1. Utilizamos la fórmula del diámetro humectante para suelos francos

$$WD = 0,7 + 0,11q_e \rightarrow 0,7 + 0,11 \cdot 4 \rightarrow \rightarrow WD = 1,14 \text{ m}$$

De donde el radio es

$$r = \frac{WD}{2} \rightarrow \frac{1,14}{2} \rightarrow R = 0,57 \text{ m}$$

2. Calculamos el área mojada del emisor

$$Ame = \pi \cdot r^2 \rightarrow \pi \cdot 0,57^2 \rightarrow Ame = 1,02 \text{ m}^2$$

3. Calculamos la separación entre emisores

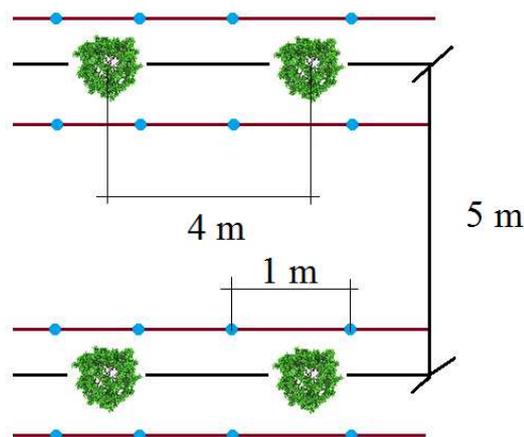
$$S_e = r \left( 2 - \frac{S}{100} \right) \rightarrow 0,57 \cdot (2 - 0,15) \rightarrow S_e = 1,05 \text{ m} \approx 1 \text{ m}$$

4. Calculamos el numero de emisores necesarios en plantaciones frutales

$$e(\text{emisor/planta}) = \frac{M_p(\text{m}^2/\text{planta}) \cdot P(\text{m}^2/\text{m}^2)}{A_{me}(\text{m}^2/\text{emisor})} \rightarrow \frac{(4 \cdot 5) \cdot 0,35}{1,02} \rightarrow e = 6,87 \approx 7 \text{ emisor/planta}$$

5. Aplicación del criterio

Al ser 7 los emisores y con una separación mínima de 1 m, ampliaremos los emisores a 8 y pondremos dos ramales, tal como se aprecia en el dibujo



- 7.4. Realizar el diseño agronómico del sistema de riego por goteo a instalar en una plantación de tomates a marco de 0,5 x 1 m (separación plantas x separación filas) y profundidad radicular efectiva 0,3 m. El intervalo de riego deseado es de 24 h en período de máxima demanda. Las necesidades netas punta son 5,5 mm/día. La calidad del agua a usar aconseja unos requerimientos de lavado del 13%. La superficie mínima a mojar referida al marco de plantación será del 40%. La prueba de campo para un gotero de 2 L/h aparece en la tabla adjunta. Se pretende mojar franjas continuas con un solape entre bulbos contiguos del 15%. El coeficiente de uniformidad será del 90% y la eficiencia de aplicación estimada del 85%.

Volumen emisor $V_e$ (L)	Profundidad mojada $P$ (m)	Radio $r$ (m)
2	0,2	0,2
4	0,35	0,3
6	0,45	0,4
8	0,5	0,45

A partir de un diseño funcional, obtener los siguientes parámetros:

- Número de laterales por fila de plantas:
- Número de emisores por planta:
- Distancia entre emisores:
- Tiempo de aplicación del riego:
- Dosis de riego L/planta·día:
- Porcentaje de superficie mojada:

1. Hacemos una lista con los datos
  - Marco de plantación  $M_p = 0,5 \times 1 \text{ m}$
  - Profundidad radicular efectiva  $z = 0,3 \text{ m}$
  - Intervalo de riego  $I = 24 \text{ h} = 1 \text{ día}$
  - Necesidades netas punta  $N_n = 5,5 \text{ mm/día}$
  - Requerimientos de lavado  $RL = 13\%$
  - Mínimo suelo mojado  $P = 40\%$
  - Solape entre bulbos  $S = 15\%$
  - Coeficiente de uniformidad  $CU = 90\%$
  - Eficiencia de aplicación  $E_a = 85\%$

2. Calculemos el intervalo de profundidad a mojar

$$\left. \begin{aligned} I_{pm_{\min}} &= 0,9 \cdot Z_{raíces} = 0,27 \text{ m} \\ I_{pm_{\max}} &= 1,2 \cdot Z_{raíces} = 0,36 \text{ m} \end{aligned} \right\} \text{ Tomamos la profundidad mojada de } 0,35$$

3. Determinamos el área mojada por un emisor

$$A_{me} = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 0,3^2 = 0,283 \text{ m}^2$$

4. Calculamos la separación entre emisores

$$S_e = r \left( 2 - \frac{S}{100} \right) \rightarrow S_e = 0,3 \cdot \left( 1 - \frac{15}{100} \right) = 0,3 \cdot 1,85 = 0,555$$

5. Calculamos el nº de emisores en cultivos hortícolas

$$e(\text{emisores/m}^2) = \frac{P(\text{m}^2/\text{m}^2)}{A_{me}(\text{m}^2/\text{emisor})} = \frac{0,4}{0,283} = 1,41 \approx 2 \text{ emisores/m}^2$$

6. Recalculamos el mínimo de suelo mojado

$$e(\text{emisores/m}^2) = \frac{P(\text{m}^2/\text{m}^2)}{A_{me}(\text{m}^2/\text{emisor})} \rightarrow 2 = \frac{P}{0,283} \rightarrow P = 0,566$$

7. Determinación del intervalo entre riegos con la ecuación de equilibrio

$$N_n(\text{mm/día}) \cdot I(\text{día}) = V_e(L/pl\text{[nt]}) \cdot e(\text{emisor/pl[nt]}) \rightarrow 5,5 \cdot I = 4 \cdot 2 \rightarrow I = \frac{8}{5,5} = 1,45 \text{ días}$$

Dado que el intervalo es mayor a 1 día, ajustamos para 1 día.

8. Recalculamos el volumen del emisor para 2 emisores

$$N_n(\text{mm/día}) \cdot I(\text{día}) = V_e(L/pl\text{[nt]}) \cdot e(\text{emisor/pl[nt]}) \rightarrow 5,5 \cdot 1 = V_e \cdot 2 \rightarrow V_e = 2,75 L/pl\text{[nt]}$$

9. Interpolamos el  $V_e$  del emisor para 2 emisores

Volumen emisor $V_e$ (L)	Profundidad mojada P(m)	Radio r (m)
2	0,2	0,2
4	0,35	0,3

$$\left. \begin{array}{l} 4 - 2 \\ 2,75 - 2 \end{array} \right\} x = 0,056 \quad \left. \begin{array}{l} 0,35 - 0,2 \\ x \end{array} \right\} y = 0,0375 \quad \begin{array}{l} P(m) = 0,2 + 0,056 \rightarrow 0,256 \\ r(m) = 0,2 + 0,0375 \rightarrow 0,2375 \end{array}$$

10. Recalculamos el área mojada por un emisor

$$A_{me} = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 0,2375^2 = 0,1772 \text{ m}^2$$

11. Calculamos la distancia entre emisores

$$S_e = r \left( 2 - \frac{S}{100} \right) \rightarrow S_e = 0,2375 \cdot \left( 1 - \frac{15}{100} \right) = 0,2375 \cdot 1,85 = 0,44 \approx 0,5$$

12. Calculamos la dosis bruta

$$D_b = \frac{N_n(\text{mm/día}) \cdot I(\text{día}) \cdot M_p(\text{m}^2)}{(1 - RL^*) \cdot CU} \rightarrow D_b = \frac{5,5 \cdot 1 \cdot 0,5}{(1 - 0,13) \cdot 0,9} \rightarrow D_b = 3,51 \text{ L/árbol} \cdot \text{riego}$$

$$D_b = \frac{N_n(\text{mm/día}) \cdot I(\text{día}) \cdot M_p(\text{m}^2)}{E_a \cdot CU} \rightarrow D_b = \frac{5,5 \cdot 1 \cdot 0,5}{0,85 \cdot 0,9} \rightarrow D_b = 3,59 \text{ L/árbol} \cdot \text{riego}$$

Tomamos el mayor 3,59 L/planta · riego

13. Tiempo de aplicación

$$t_a = \frac{D_b(\text{L/árbol} \cdot \text{riego})}{q_e(\text{L/h}) \cdot e(\text{emisores/riego})} \rightarrow \frac{3,59 \text{ L/árbol} \cdot \text{riego}}{2,75 \text{ L/h} \cdot 2} \rightarrow 0,65 \text{ h} = 39'$$

- Número de laterales por fila de plantas: 1
- Número de emisores por planta: 2
- Distancia entre emisores: 0,44  $\approx$  0,5
- Tiempo de aplicación del riego: 39'
- Dosis de riego L/planta · día: 3,59 L/planta · riego
- Porcentaje de superficie mojada: ?

7.5. Realice el diseño agronómico de una finca con los siguientes datos:

- Dimensión de la finca 8 ha (naranja)
- Marco de plantación  $M_p = 6 \times 5$  m
- Suelo medio (franco-arcilloso)
- Conductividad eléctrica del agua de riego (CE) = 2,5 ds/m
- Conductividad eléctrica del extracto de saturación para un rendimiento potencial del 0%  $Máx CE_e = 8$  dS/m
- Se riega con agua de pozo de caudal  $q_p = 10,5$  L/s
- Profundidad radicular efectiva  $z = 0,5$  m
- Caudal del emisor  $q_e = 4$  L/h
- Solape entre bulbos  $S = 15\%$
- Porcentaje de suelo húmedo  $P = 30\%$
- Necesidades netas del cultivo  $N_n = 5,85$  mm/día
- Intervalo de riegos  $I = 1$  día

Volumen del emisor $V_e$ (L)	Profundidad mojada $P$ (m)	Radio $r$ (m)
4	0,26	0,3
8	0,3	0,38
12	0,39	0,47
16	0,48	0,54
20	0,59	0,6
24	0,65	0,64
28	0,77	0,69
32	0,88	0,72

Se desea:

- a) Calcular el nº de emisores planta y separación entre ellos
- b) Disposición emisores y laterales (croquis)
- c) Dosis bruta sabiendo que el coeficiente de uniformidad y la eficiencia de aplicación son  $CU$  y  $E_a$  0,9
- d) Tiempo de riego
- e) Número de sectores

1. Determinar el intervalo de profundidad a mojar  $I_{pm}$

$$\left. \begin{aligned} I_{pm_{\min}} &= 0,9 \cdot Z_{\text{raíces}} = 0,45 \text{ m} \\ I_{pm_{\max}} &= 1,2 \cdot Z_{\text{raíces}} = 0,6 \text{ m} \end{aligned} \right\} \text{ como nuestro intervalo oscila entre } 0,45 \text{ y } 0,6 \text{ elegimos el } 0,59$$

que se encuentre entre ellos y que sea el que es 0,59

2. Determinar el área mojada por un emisor

$$A_{me} = \pi \cdot r^2 \rightarrow \pi \cdot 0,6^2 \rightarrow A_{me} = 1,13 \text{ m}^2$$

3. Calculamos el número de emisores en frutales

$$e(\text{emisor/planta}) = \frac{M_p(\text{m}^2/\text{planta}) \cdot P(\text{m}^2/\text{m}^2)}{A_{me}(\text{m}^2/\text{emisor})} \rightarrow \frac{(6 \cdot 5) \cdot 0,3}{1,13} \rightarrow e = 7,96 \approx 8 \text{ emisor/planta}$$

4. Determinación del intervalo entre riegos con la ecuación de equilibrio

$$N_{n_{\text{planta}}} \cdot \left( \frac{\text{mm}}{\text{día}} \right) \cdot I(\text{día}) = V_e(\text{L/árbol}) \cdot e(\text{emisor/planta}) \rightarrow 175,5 \cdot I = 20 \cdot 8 \rightarrow$$

$$\rightarrow I = \frac{120}{175,5} = 0,91 \cong 1 \text{ día}$$

$$N_{n\text{planta}}^* = N_n \cdot M_p \rightarrow 5,85 \frac{\text{L}}{\text{m}^2 \text{ día}} \cdot 6 \cdot 5 \frac{\text{m}^2}{\text{planta día}} \rightarrow N_{n\text{planta}} = 175,5 \text{ L/planta día}$$

Dado que el intervalo es inferior a 1 día, sumamos 2 emisores más, para ajustar al alza el redondeo

5. Recalculamos el volumen del emisor con los nuevos datos

$$N_{n\text{planta}} \cdot I = V_e \cdot e \rightarrow 175,5 \cdot 1 = V_e \cdot 10 \rightarrow V_e = \frac{175,5}{10} = 17,55 \text{ L/árbol}$$

6. Interpolamos el  $V_e$  en la tabla para obtener el radio y la profundidad mojada

Volumen del emisor $V_e$ (L)	Profundidad mojada P(m)	Radio r (m)
16	0,48	0,54
20	0,59	0,6

$$\begin{array}{l} 20 - 16 \quad 0,59 - 0,48 \quad 0,6 - 0,54 \\ 17,55 - 16 \quad \quad \quad x \quad \quad \quad y \end{array} \left. \begin{array}{l} x = 0,05 \\ y = 0,02 \end{array} \right\} \begin{array}{l} P(m) = 0,48 + 0,05 \rightarrow 0,53 \\ r(m) = 0,54 + 0,023 \rightarrow 0,56 \end{array}$$

Volumen del emisor $V_e$ (L)	Profundidad mojada P(m)	Radio r (m)
17,55	0,53	0,56

7. Recalculamos el área mojada por un emisor

$$A_{me} = \pi \cdot r^2 \rightarrow \pi \cdot 0,56^2 \rightarrow A_{me} = 0,98 \text{ m}^2/\text{emisor}$$

8. Recalculamos el intervalo entre riegos con la ecuación de equilibrio

$$N_{n\text{planta}} \cdot I = V_e \cdot e \rightarrow 175,5 \cdot I = 17,55 \cdot 10 \rightarrow I = \frac{17,55 \cdot 10}{175,5} = 1 \text{ día}$$

9. Calculamos la distancia entre emisores

$$S_e = r \left( 2 - \frac{S}{100} \right) \rightarrow 0,56 \cdot (2 - 0,15) \rightarrow S_e = 1,04 \text{ m} \approx 1 \text{ m}$$

10. Dibujamos el croquis

Poner foto

11. Calculamos la dosis bruta siendo  $CU$  y  $E_a$  0,9

$$D_b = \frac{ET_{cg}(\text{mm/día}) \cdot I(\text{día}) \cdot M_p(\text{m}^2)}{(1 - RL^*) \cdot CU} \rightarrow D_b = \frac{5,85 \cdot 1 \cdot 6 \cdot 5}{(1 - 0,16) \cdot 0,9} \rightarrow D_b = 232,15 \text{ L/árbol} \cdot \text{riego}$$

$$RL^* = \frac{CE_a}{2 \max CE_e} \rightarrow \frac{2,5 \text{ ds/m}}{2 \cdot 8 \text{ ds/m}} = 0,16$$

$$D_b = \frac{ET_{cg}(\text{mm/día}) \cdot I(\text{día}) \cdot M_p(\text{m}^2)}{E_a \cdot CU} \rightarrow D_b = \frac{5,85 \cdot 1 \cdot 6 \cdot 5}{0,9 \cdot 0,9} \rightarrow D_b = 216,66 \text{ L/árbol} \cdot \text{riego}$$

Cogemos la mayor  $D_b = 232,15 \text{ L/árbol} \cdot \text{riego}$

12. Tiempo de aplicación

$$t_a = \frac{D_b(\text{L/árbol} \cdot \text{riego})}{q_e(\text{L/h}) \cdot e(\text{emisores/riego})} \rightarrow \frac{232,15 \text{ L/árbol} \cdot \text{riego}}{4 \text{ L/h} \cdot 10} \rightarrow 5,8 \text{ h}$$

13. Calculamos el caudal total del sistema

- Calculamos el nº de árboles

$$N^\circ \text{ árboles} = \frac{A_{\text{terreno}}(\text{m}^2)}{M_p(\text{m}^2)} \rightarrow \frac{8 \cdot 10000}{6 \cdot 5} = 2667 \text{ árboles}$$

$$q_s = \frac{n^\circ \text{ árboles} \cdot D_b}{t_a(\text{h}) \cdot 3600 \text{ s/h}} \rightarrow \frac{2667 \cdot 232,15}{5,8 \cdot 3600} = 29,65 \text{ L/S}$$

14. Calcular el nº de sectores

$$n^\circ \text{ sectores} = \frac{q_s}{q_p} \rightarrow \frac{29,65 \text{ L/S}}{10,5 \text{ L/S}} \rightarrow 2,82 \text{ sectores} \cong 3 \text{ sectores}$$

## 9. Programación de riego

8.1. [Junio 2015. (2,0), Febrero 2015. (2,0)] Realice el programa de riego semanal para una plantación de melocotoneros en riego por goteo, a partir de la siguiente información.

- Marco de plantación 7 x 7 m
- Profundidad radicular efectiva 0,5 m
- Porcentaje de humectación (P) = 25%
- Fracción de agotamiento admisible ( $\alpha$ ) = 15%
- Permeabilidad  $k = 45 \text{ mm/h}$  ( $>30 = k$  Arenoso)
- Nº de laterales por hilera de árboles = 1
- Separación entre emisores,  $Se = 1 \text{ m}$
- Caudal del emisor = 4 l/h
- Eficiencia de aplicación ( $E_a$ ) = 95%
- Coefficiente de uniformidad CU = 90%
- Conductividad eléctrica del agua de riego (CE) = 1,55 ds/m
- Conductividad eléctrica del extracto de saturación para un rendimiento potencial del 0% ( $CE_e$ ) = 7,0 ds/m
- Contenidos gravimétricos y densidad aparente:

Profundidad	0-30 cm	30-75 cm
$\theta_g \text{CC} (\%)$	15,1	12,27
$\theta_g \text{M} (\%)$	8	7,3
$d_a (\text{g/cm}^3)$	1,38	1,40

La evaporación de referencia,  $ET_o$  (Penman-Monteith), media diaria de la semana anterior fue de 6,54 mm/día y el coeficiente de cultivo estimado para esta época  $k_c$  es de 0,8. Así mismo, se sabe que el porcentaje de área sombreada (SS%) es del 39,2%. Y dispone de los valores del coeficiente de corrección  $k_r$  proporcionados por E. Fereres (ver tabla adjunta).

La finca consta de 2 sectores de riego y se desea que el funcionamiento sea secuencial. El día será introducido en el programador de riego a través de un número del 1 al 8, cuyo significado se detalla a continuación.

1 lunes, 2 martes, ... , 7 domingo, 8 todos los días. Hechos los cálculos pertinentes se deberá confeccionar una tabla (ver formato adjunto donde se recoja el programa elaborado por semana en cuestión)

Inicio (marcha)			Fin (paro)		
Día	Hora	Minutos	Día	Hora	Minutos
8			8		

Teniendo en cuenta que la práctica del abonado requiere de la inyección de 800 l/sem de una solución de fertilizante, para el conjunto de la finca, y que se desean realizar 2 fetirriegos/semana (Martes (2) y viernes (5)). Se pide: Determine las dosis de inyección de la solución fertilizante y complete el anterior programa de riego con el de fertilización.

%SS	Fereres
10	0,28
20	0,49
30	0,64
40	0,76
50	0,87
60	0,89
70	1,00
80	1,00
90	1,00
100	1,00

Tabla de valores de  $k_r$  en función del % SS según Fereres.

1. Calculamos el coeficiente de riego con la tabla de Fereres

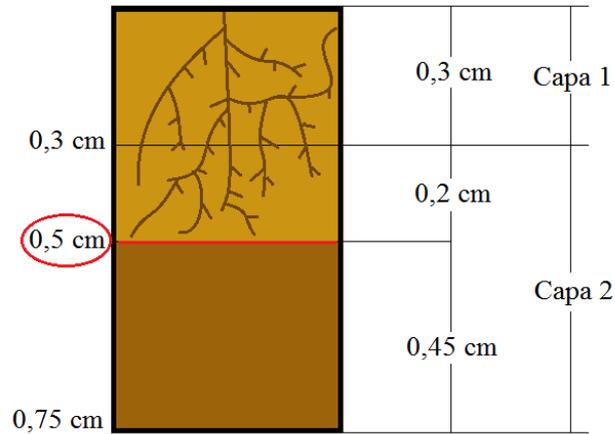
El valor es 39,2 % como la tabla no nos da el valor directamente interpolaremos entre los valores más próximos.

$$\begin{array}{l|l} \% \text{ SS} & \text{Fereres} \\ \hline 30 & 0,64 \\ 40 & 0,76 \end{array} \left. \begin{array}{l} 40 - 30 \\ 39,2 - 30 \end{array} \right\} \begin{array}{l} 0,76 - 0,64 \\ x \end{array} \} x = 0,11 \rightarrow 0,64 + 0,11 \rightarrow k_r = 0,75$$

2. Calculamos la tasa de evaporación de un riego por goteo

$$ET_{cg}(\text{mm/día}) = ET_0 \cdot k_c \cdot k_r \rightarrow 6,54 \cdot 0,8 \cdot 0,75 \rightarrow 3,92 \text{ mm/día}$$

3. Tenemos en cuenta la profundidad efectiva de las raíces que es 0,5 m, mediremos en proporción a las capas a las que llegue como representa el dibujo



4. Calculamos la cantidad necesaria de contenido húmedo para llenar una porción de suelo, en este caso, 0,5 cm

Capa 1 de 0-0,3 cm  $\rightarrow z = 0,3$  cm

$$L\theta_1 = \theta_{v_1} \cdot z \rightarrow (\theta_{g_{cc}} - \theta_{g_{pm}}) \cdot d_a \cdot z \rightarrow (151 - 80) \cdot 1,38 \cdot 0,3 \rightarrow L\theta_1 = 29,39 \text{ mm}$$

Capa 2 de 0,3-0,75 cm  $\rightarrow z = 0,2$  cm

$$L\theta_2 = \theta_{v_2} \cdot z \rightarrow (\theta_{g_{cc}} - \theta_{g_{pm}}) \cdot d_a \cdot z \rightarrow (122,7 - 73) \cdot 1,4 \cdot 0,2 \rightarrow L\theta_1 = 13,92 \text{ mm}$$

5. Calculamos la dosis neta

$$D_n = \sum_{i=1}^n L\theta_n \cdot \alpha \cdot P/100 \rightarrow (29,39 + 13,92) \cdot 0,15 \cdot 0,25 = 1,62 \text{ mm}$$

6. Calculamos el intervalo entre riegos

$$I = \frac{D_n(\text{mm})}{ET_c(\text{mm/día})} \rightarrow \frac{1,62}{3,92} \rightarrow I = 0,41 \text{ días}$$

7. Calculamos el número de riegos

$$n^\circ \text{ riegos} = \frac{\text{Día}}{I} \rightarrow \frac{1}{0,41} = 2,42 \text{ riego/día} \rightarrow 3 \text{ riego/día}$$

8. Calculamos la dosis bruta, la mayor de las siguientes relaciones

$$D_b = \frac{ET_{cg}(\text{mm/día}) \cdot I(\text{día}) \cdot M_p(\text{m}^2)}{(1 - RL^*) \cdot CU} \rightarrow D_b = \frac{3,87 \cdot \frac{1}{3} \cdot 7 \cdot 7}{(1 - 0,11) \cdot 0,9} = \frac{63,21}{0,801} \rightarrow D_b = 78,91 \text{ L/árbol} \cdot \text{riego}$$

$$RL^* = \frac{CE_a}{2 \max CE_e} \rightarrow \frac{1,55 \text{ ds/m}}{2 \cdot 7 \text{ ds/m}} = 0,11$$

$$D_b = \frac{ET_{cg}(\text{mm/día}) \cdot I(\text{día}) \cdot M_p(\text{m}^2)}{E_a \cdot CU} \rightarrow D_b = \frac{63,21}{0,95 \cdot 0,9} \rightarrow D_b = 73,93 \text{ L/árbol} \cdot \text{riego}$$

Tomamos  $D_b = 78,91 \text{ L/árbol} \cdot \text{riego}$

9. Calculamos los emisores

$$e = M_p \cdot S_e \rightarrow 7(\text{m}) \cdot 1(\text{e/m}) \rightarrow e = 7 \text{ emisores}$$

10. Tiempo de aplicación

$$t_a = \frac{D_b(\text{L/árbol} \cdot \text{riego})}{q_e(\text{L/h}) \cdot e(\text{emisores/riego})} \rightarrow \frac{78,91 \text{ L/árbol} \cdot \text{riego}}{4 \text{ L/h} \cdot 7} \rightarrow 2,82 \text{ h} \cong 2 \text{ h } 49'$$

11. Tiempo de aplicación total

$$t_t = 2,82 \text{ h} \cdot 3 \text{ riegos/día} \cdot 2 \text{ sectores} = 16,92 \text{ h} \cong 16 \text{ h } 55'$$

12. Programa de fertilización

$$D_{ferti} = \frac{\text{Abonado total}}{\text{Días} \cdot \text{sectores}} \rightarrow \frac{800 \text{ L}}{2 \text{ días} \cdot 2 \text{ sectores}} \rightarrow D_{ferti} = 200 \text{ L/día} \cdot \text{sector}$$

$$t_{ferti} = 0,8 \cdot t_{riego} = 0,8 \cdot 2,82 = 2,26 \text{ h} \cong 2 \text{ h } 15'$$

13. Dosis de inyección

$$D_{inyección} = \frac{200 \text{ L}}{2,26 \text{ h}} = 88,49 \text{ L/h}$$

14. Tablas

Sectores	Día	Inicio (Marcha)	Fin (Paro)
1	8	00:01	02:50
	8	06:00	08:49
	8	12:00	14:49
2	8	03:00	05:49
	8	09:00	11:49
	8	15:00	17:49
Fertilización			
1	2	18:00	20:15
2	2	20:30	22:45
1	5	18:00	20:15
2	5	20:30	22:45

8.2. El programa de riego semanal para albaricoqueros a partir de la siguiente información:

- Marco de plantación  $M_p = 8 \times 8$  m
- Profundidad radicular efectiva  $Z = 0,5$  m
- Porcentaje de humectación  $P = 25\%$
- Contenido volumétrico de humedad  $\theta_v = 11,6\%$
- Permeabilidad  $k = 18$  mm/h suelo franco
- nº de goteros por árbol  $e = 7$  emisores/árbol
- Eficiencia de aplicación  $E_a = 95\%$
- Coeficiente de uniformidad  $CU = 90\%$
- Requerimientos de lavado  $RL = 10\%$

Se sabe además, que la lámina de agua evaporadora la semana anterior en una cubeta de clase A fue de 8 mm/día; además conocemos:

- Coeficiente del tanque  $k_p = 0,8$
- Coeficiente del cultivo  $k_c = 0,7$
- Coeficiente de localización o riego  $k_r = 0,77$

Sabemos también que tenemos:

- 2 sectores a secuenciar
- Funcionamiento secuenciado
- Fertilización de 900 L/semana para el conjunto de la finca con 2 fertirriegos a la semana (Martes y Miércoles)

Se quiere saber:

- Programar fertirrigación y riego
- Dosis de inyección

1. Calculamos la tasa de evaporación del riego

$$ET_{cg} \text{ (mm/día)} = E_{pan} \cdot k_p \cdot k_c \cdot k_r \rightarrow 8 \cdot 0,8 \cdot 0,7 \cdot 0,77 \rightarrow 3,15 \text{ mm/día}$$

2. Calculamos la lámina de agua a aportar

$$L\theta = \theta_v \cdot 10 \cdot z = 11,6 \cdot 10 \cdot 0,5 \text{ mm/m}$$

3. Calculamos la dosis neta

$$D_n = \alpha \cdot L\theta \cdot P = 0,15 \cdot 58 \cdot 25 = 217,5 \text{ mm/m} = 2,175 \text{ mm}$$

4. Calculamos el intervalo entre riegos

$$I = \frac{D_n}{ET_{cg}} = \frac{2,175 \text{ mm}}{3,15 \text{ mm/día}} = 0,69 \text{ días} \cong 0,5 \text{ días}$$

Por tanto daremos 2 riegos al día

5. Calculamos la dosis de riego

$$D_r = \frac{ET_{cg} \cdot I \cdot M_p}{(1 - k) \cdot CU}$$

Siendo

$$k = RL \text{ ó } E_a \rightarrow \left. \begin{array}{l} 1 - RL = 1 - 0,9 = 0,1 \\ 1 - E_a = 1 - 0,95 = 0,05 \end{array} \right\} \text{Tomamos el de } 0,1$$

Por tanto:

$$\frac{3,15 \cdot 0,5 \cdot 64}{(1 - 0,1) \cdot 0,9} = 124,4 \text{ L/árbol} \cdot \text{riego}$$

6. Calculamos el tiempo de aplicación

$$t_a = \frac{D_b}{e \cdot q_e} = \frac{124,4}{7 \cdot 4} = 4,4 = 4^\circ 24'$$

### Fertilización

Sabemos

2 fertirriegos a la semana (M y V) } 4 fertirriegos a la semana  
2 sectores

1. Programa de fertilización

2. Calculamos el tiempo de fertilización

$$D_{ferti} = \frac{\text{Abonado total}}{\text{Días} \cdot \text{Sectores}} = \frac{900}{2 \cdot 2} = 225 \text{ L/Días} \cdot \text{sector}$$

$$t_{ferti} = 0,8 \cdot t_{riego} = 0,8 \cdot 4,4 = 3,52 \rightarrow 3^\circ 31'$$

3. Calculamos la dosis de inyección

$$D_{inyección} = \frac{225}{3,52} = 63,92 \text{ L/h}$$

4. Calculamos el preriego y postriego

$$t_a - t_f = 4,4 - 3,52 = 0,88/2 = 0,44 = 26'$$

- Pre-riego: 26'
- Post-riego: 26'

Sectores	Día	Inicio (Marcha)	Fin (Paro)
1	8	00:01	04:25
	8	12:00	16:24
2	8	05:00	09:24
	8	17:00	21:24
Fertilización			
1	2	00:27*	03:57
2	2	05:26	08:56
1	5	00:27*	03:57
2	5	05:26	08:56

\*00:01+26'

## 10. Fertirrigación

Suponemos que hay una plantación de aguacates en estado adulto con 2496 árboles. La fórmula de nutrientes aplicada en el momento más desfavorable, de cara a preparar la solución madre es la siguiente.

$$N = 30 \text{ g/planta} \cdot \text{semana}$$

$$P_2O_5 = 10 \text{ g/planta} \cdot \text{semana}$$

$$K_2O = 30 \text{ g/planta} \cdot \text{semana}$$

Para esta semana, el tiempo de aplicación es de 5 h y vamos a aplicar como fertilizantes, aparecen en la tabla:

Abono	Riqueza N-P-K	Solubilidad (g/L)
Nitrato amónico ( $NH_4NO$ )	33,5-0-0	1200
Nitrato potásico ( $KNO_3$ )	13-0-46	300
Fosfato amónico ( $NH_4(PO_4)_2$ )	12-60-0	220

- Calculamos las necesidades del cultivo por cada abono y la cantidad aportada por cada uno

Como los tres abonos tienen nitrógeno, calcularemos primero los que sólo contengan dos elementos

- P

Calculamos la necesidad de fósforo

$$N_{P_2O_5} = n^{\circ} \text{ árboles} \cdot \text{necesidad /planta} \rightarrow 2496 \cdot 10 \text{ g/planta} \cdot \text{semana} = 24,96 \text{ kg/semana}$$

$$\text{Aporte}_{P_2O_5} = \frac{N_{P_2O_5}}{\text{Riqueza}_{P_2O_5}} \rightarrow \frac{24,96}{0,6} = 41,6 \text{ kg}_{P_2O_5}/\text{Semana}$$

$$\text{Aporte}_N = \text{Aporte}_{P_2O_5} \cdot \text{Riqueza}_N \rightarrow 41,6 \cdot 0,12 = 4,99 \text{ kg}_N/\text{Semana}$$

- K

Calculamos las necesidades de potasio

$$N_{K_2O} = n^{\circ} \text{ árboles} \cdot \text{necesidad /planta} \rightarrow 2496 \cdot 30 \text{ g/planta} \cdot \text{semana} = 74,88 \text{ kg/semana}$$

$$\text{Aporte}_{K_2O} = \frac{N_{K_2O}}{\text{Riqueza}_{K_2O}} \rightarrow \frac{74,88}{0,46} = 162,78 \text{ kg}_{K_2O}/\text{Semana}$$

$$\text{Aporte}_N = \text{Aporte}_{K_2O} \cdot \text{Riqueza}_N \rightarrow 162,78 \cdot 0,13 = 21,16 \text{ kg}_N/\text{Semana}$$

- N

$$N_N = n^{\circ} \text{ árboles} \cdot \text{necesidad /planta} \rightarrow 2496 \cdot 30 \text{ g/planta} \cdot \text{semana} = 74,88 \text{ kg/semana}$$

Le restamos los aportes de los otros abonos

$$74,88 - 21,16 - 4,99 = 48,73 \text{ kg/semana}$$

$$\text{Aporte}_{K_2O} = \frac{N_{K_2O}}{\text{Riqueza}_{K_2O}} \rightarrow \frac{\quad}{0,46} = 162,78 \text{ kg}_{P_2O_5}/\text{Semana}$$

## 11. Coeficiente de uniformidad

1. Teniendo en cuenta el criterio orientativo para la interpretación de los valores del coeficiente de uniformidad (CU), recomendados por el IR y DA para topografías sensiblemente llanas tabla 1, califique la instalación en riegos por goteo cuyos datos de muestreo se recogen en la tabla 2

Valor del CU	Calificación
>94%	Excelente
86-94%	Buena
80-86%	Aceptable
70-80%	Pobre
<70%	Inaceptable

Lateral	Emisor	Caudal cm <sup>3</sup> /3 min	Factor de conversión	Caudal l/h
Máxima	1	212	0,02	4,24
Presión	2	186	0,02	3,72
	3	206	0,02	4,12
Origen	4	220	0,02	4,40
Presión	1	176	0,02	3,52
Intermedia	2	206	0,02	4,12
	3	208	0,02	4,16
Longitud/3	4	208	0,02	4,16
Presión	1	208	0,02	4,16
Intermedia	2	196	0,02	3,92
	3	179	0,02	3,58
2longitud/3	4	210	0,02	4,20
Presión	1	166	0,02	3,32
Mínima	2	202	0,02	4,04
	3	174	0,02	3,48
Final	4	218	0,02	4,36

Tenemos 16 datos

1. Calculamos  $q_a$  = Caudal medio de los emisores evaluados en la prueba de campo

$$q_a = \sum_{i=1}^{16} \frac{(Q_i)}{i} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{212 + 186 + 206 + 220 + 176 + 206 + 208 + 208 + 208 + 196 + 179 + 210 + 166 + 202 + 174 + 218}{16} = 198,44 \text{ L/h}$$

2. Calculamos  $q_{25\%}$  = Caudal medio recibido por el 25% de los emisores que reciben menos caudal en la prueba de campo

$$q_{a25\%} = \sum_{i=1}^4 \frac{(Q_i)}{i} \rightarrow \frac{166 + 174 + 176 + 179}{4} = 173,75 \text{ l/h}$$

3. Calculamos el coeficiente de uniformidad

$$CU = \frac{q_{25\%}}{q_a} \cdot 100 = \frac{173,75}{198,44} \cdot 100 = 87,56\%$$

Calificación buena

2. Teniendo en cuenta el criterio orientativo para la interpretación de los valores del coeficiente de uniformidad (CU), recomendados por el IR y DA para topografías sensiblemente llanas tabla 1, califique la instalación en riegos por goteo cuyos datos de muestreo se recogen en la tabla 2.

Valor del CU	Calificación
>94%	Excelente
86-94%	Buena
80-86%	Aceptable
70-80%	Pobre
<70%	Inaceptable

Lateral	Emisor	$Q(\text{cm}^3/\text{min})$
Máxima	1	198
	2	196
	3	216
	4	200
1/3	1	196
	2	206
	3	208
	4	196
2/3	1	208
	2	194
	3	172
	4	198
Mínima	1	136
	2	188
	3	184
	4	118

Tenemos 16 datos

1. Calculamos  $q_a$  = Caudal medio de los emisores evaluados en la prueba de campo

$$q_a = \sum_{i=1}^{16} \frac{(Q_i)}{i} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{198 + 196 + 216 + 200 + 196 + 206 + 208 + 196 + 208 + 194 + 172 + 198 + 136 + 188 + 184 + 118}{16} =$$
$$= 188,37 \text{ L/h}$$

2. Calculamos  $q_{25\%}$  = Caudal medio recibido por el 25% de los emisores que reciben menos caudal en la prueba de campo

$$q_{a25\%} = \sum_{i=1}^4 \frac{(Q_i)}{i} \rightarrow \frac{118 + 136 + 172 + 184}{4} = 152,5 \text{ L/h}$$

3. Calculamos el coeficiente de uniformidad

$$CU = \frac{q_{25\%}}{q_a} \cdot 100 = \frac{152,5}{188,37} \cdot 100 = 81\%$$

Calificación aceptable

# Teoría

## Preguntas sin tema

[Junio 2015. (0,42), Febrero 2014. (0,6)] **Análisis foliar ¿Qué se entiende por niveles críticos? Emplee gráfica aclaratoria, de nombres a los ejes coordenados y puntos relevantes de la gráfica.**

Niveles críticos: Concentración de cada elemento nutritivo en las hojas por debajo del cual el crecimiento o la producción de un árbol disminuye si se compara con otros que tienen concentraciones más altas.



### Factores que influyen en la composición mineral de la hoja

- Estado de desarrollo
- Condiciones climáticas
- Disponibilidad de nutrientes en el suelo
- Distribución y actividad de las raíces
- La cosecha (carga)
- Condiciones de humedad del suelo

### Defina los términos:

- **Agua útil:** La cantidad de agua que tiene un suelo entre su situación de capacidad de campo y su punto de marchitez permanente.
- **Capacidad de campo:** El contenido de humedad o cantidad de agua que contiene un suelo saturado después de 48 h de drenaje.
- **Agua libre:** Agua que drena por acción de la gravedad.
- **Agua de constitución:** Agua que forma parte de las moléculas.
- **Punto de marchitez permanente:** Cantidad de agua que permanece en el suelo pero que no está disponible para la planta sin poder recuperarse después de la adición de agua.
- **Turgencia:** Fenómeno por el que las células absorben el agua, se hinchan y crean una presión que hace que la planta esté firme.
- **Eutrofización de las aguas superficiales:** Enriquecimiento en nutrientes que estimulan el crecimiento de la vegetación acuática. Es perjudicial porque consumen O<sub>2</sub> al morir y

descomponerse causando la muerte de peces, dificultan el flujo del agua en canales y ríos, depreciación para usos recreativos y efecto estético negativo.

- **Nitrógeno residual:** Nitrógeno mineral que queda en el suelo tras la cosecha.
- **Alometría:** Relación entre las masas de crecimiento de partes individuales de un órgano u organismo
- **Metahemoglobinemia:** Es una enfermedad que surge de la excesiva conversión de hemoglobina a metahemoglobina, que es incapaz de enlazar y transportar oxígeno. La metahemoglobina aparece cuando la hemoglobina es oxidada de  $Fe^{+2}$  a  $Fe^{+3}$  a una tasa superior a la capacidad enzimática normal para reducir la hemoglobina. Entre varios causantes puede deberse a exceso en el agua o plantas de nitratos o nitritos.

[Junio 2015. (0,42)]Escriba la expresión de los siguientes índices, indicando así mismo las unidades en los que habitualmente se expresan.

- a. **Tasa de crecimiento relativa de una planta u órgano (RGR)\*:** Expresa el aumento en peso seco ( $\Delta W$ ) en un intervalo de tiempo ( $t_2 - t_1$ ) en relación al peso inicial ( $w_1$ )

$$\overline{RGR} = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1} \text{ (g g}^{-1} \text{d}^{-1}\text{)}$$

- b. **Índice de área foliar (LAI)\***

$$LAI = \frac{\text{Área foliar}}{\text{Marco de plantación}}; \text{ (m}^2 \text{m}^{-2}\text{)}$$

- c. **Relación de área foliar (LAR):** Expresa la relación entre área foliar o tejido fotosintetizante y biomasa total de la planta

$$LAR = \frac{\text{Área foliar}}{\text{Peso total}} \text{ (cm}^2 \text{/g)}$$

- d. **Peso específico foliar (SLW)\***

$$SLW = \frac{\text{Peso foliar}}{\text{Área foliar}}; \text{ (g cm}^{-2}\text{)}$$

- e. **Tasa de asimilación neta (NAR):** Expresa la ganancia neta de asimilados, principalmente fotosintéticos, por unidad de área foliar y tiempo. También incluye la ganancia de minerales

$$NAR = \frac{1}{\text{Área foliar}} \cdot \frac{dW}{dt} \text{ (g/cm}^2 \cdot \text{día)}$$

La ecuación para calcular el valor medio (NAR) asume que la relación entre el peso de la planta y el área foliar es lineal

$$\overline{NAR} = \frac{w_2 - w_1}{t_2 - t_1} \cdot \frac{\ln L_{A_2} \cdot \ln L_{A_1}}{L_{A_2} \cdot L_{A_1}}$$

- f. **Índice de cosecha\***: Refleja la proporción de asimilados distribuidos entre biomasa económica y total

$$\text{índice de cosecha} = \frac{\text{Prod.eco}}{\text{Prod.biolo}} \times 100, (\%)$$

Donde:

- Producción Biológica: Materia seca total acumulada por el sistema de plantas.
- Producción Económica: Volumen o peso de los órganos que constituyen producto de interés económico.

- g. **Área específica foliar:**

$$\text{SLA} = \frac{\text{Área foliar}}{\text{Peso foliar}}; (\text{cm}^2/\text{g})$$

### Cosas que debes saber

- Potencial al alba: Valores más altos de potencial
- Potencial xilemático: Potencial en los vasos xilemáticos
- Potencial al medio día: Potencial más bajo, coincide con la máxima transpiración de la planta

Muestreo foliar

- Fincas con menos de 10 hectáreas: Una muestra por hectárea
- Fincas entre 10-20 hectáreas: Una muestra por cada 2 hectáreas
- Fincas con más de 20 hectáreas: Una muestra por cada 5 hectáreas

Cada muestra debe contener alrededor de 100 hojas, se tomarán 5-8 hojas por árbol y habrán de tomarse de árboles sin problemas sanitarios etc. ejemplares sanos.

Se deben tomar muestras en:

- Olivo: Julio
- Almendro: Junio
- Cítricos: Agosto-noviembre

Es importante tomar las muestras en estos periodos pues resultan más significativas, en periodos distintos interfieren con los físico-fenológicos alterados y podrían no resultar significativas o inducir a error.

**[Junio 2015. (0,42)]Índice de cobertura del suelo para cultivos leñosos y hortícolas (% SS): Expresiones y procedimientos de determinación**

## Tema 1

**(T.1.) Definición del potencial del agua en el suelo y unidades del mismo en cada una de las 3 formas en que puede ser expresado de acuerdo a su definición (Unidades en el sistema internacional). 0,65**

Aquella capacidad de hacer trabajo por unidad de masa, en relación con el agua libre, sin solutos y a una altura cero sobre la superficie del suelo.

- Según la propia definición de potencial: Unidades = energía/masa → Julios/kg (SI) o Julios/m<sup>3</sup>
- En unidades de presión 1 julio/m<sup>3</sup> = 1Newton/m<sup>2</sup>: 1Pascal
- Unidades de energía/peso:Julio/Newton = 1 Newton·m/Newton = 1 m.c.a.

**(T.1.) [Junio 2015. (0,44)] a) ¿Qué fuerzas actúan sobre el agua en el suelo? b) ¿Qué componentes del potencial total del agua en el suelo corresponde a cada uno de ellos? c) ¿Cuáles son los de mayor interés en suelos saturados, salinos y no salinos e insaturados? 0,43**

a)

Existen varias fuerzas que actúan sobre el agua en el suelo y que afectan a su potencial:

- Las derivadas de la interacción del agua con las partículas sólidas
- Las resultantes de la interacción agua-moléculas en solución
- Las fuerzas de campo gravitatorio.

b)

Las derivadas de la interacción del agua con las partículas sólidas, el potencial de presión ( $\Psi_p$ )

Las resultantes de la interacción agua-moléculas en solución, el potencial osmótico ( $\Psi_o$ )

Las fuerzas de campo gravitatorio, el potencial gravitatorio ( $\Psi_g$ )

c)

En suelos muy húmedos y salinos las de mayor interés son las de interacción con sólidos del suelo.

En los suelos insaturados y poco salinos la interacción agua-molécula en solución.

**(T.1.) Curvas características de humedad del suelo. Definición, método de obtención y factores que las condicionan.**

Curvas que relacionan el contenido de agua con el potencial de presión ( $\Psi_p$ ). En general, estas curvas se obtienen en el laboratorio utilizando muestras inalteradas de suelo y un equipo de placas de presión (Cámara de Richards). Los factores que la determinan son:

- Estructura: El contenido de agua de un suelo a bajas succiones es función de la estructura, ésta determina la proporción de poros grandes (macroporos).
- Textura: El contenido de agua de un suelo a altas tensiones es factor determinante de la textura, ésta determina la proporción de los poros pequeños (microporos)

## Tema 2 Movimientos del agua en el suelo

### (T.2.1.) [Junio 2015. (0,42)] Explique el fundamento de medida y cite los equipos que permiten estimar el contenido de agua en el suelo a través de la medida constante dieléctrica del suelo

Los sensores dieléctricos estiman la humedad volumétrica del suelo ( $\theta_v$ ) a partir de la medida de la constante dieléctrica de la matriz del suelo ( $\epsilon$ ). En un medio poroso, como el suelo, constituido por partículas minerales, aire y agua el valor de  $\epsilon$  es el resultado de la contribución relativa de cada uno de los componentes. Teniendo en cuenta que  $\epsilon$  es aproximadamente 1 para el aire, del orden de 3 para las partículas minerales y 80 para el agua, la constante dieléctrica aparente del suelo dependerá principalmente del porcentaje de agua presente en el suelo.

- Reflectometría de dominio del tiempo (TDR)
- Reflectometría de dominio de frecuencias (FDR)

### (T.2.2.) Cite los equipos que permiten estimar el potencial matricial del agua en el suelo a partir de la medida de una magnitud eléctrica. 0,2

- Tensiómetros
- Bloques de resistencia eléctrica
- Cámara de presión de Richards

### (T.2.3.) Explique qué dos tipos de medida se pueden hacer en el suelo, cite los procedimientos o aparatos de cada uno de ellos y explíquelos brevemente

Se puede medir el contenido de humedad o/y del estado energético (potencia total o alguna de sus componentes) en un momento dado.

De contenido de humedad

- Muestreo del suelo: Sus aplicaciones son muchas como establecer las relaciones entre humedad y tensión del suelo, realización de curvas de calibración de otros métodos de medida como en las sondas de neutrones y bloques de resistencia eléctrica, determinación del contenido de humedad del suelo en cualquier momento, comprobaciones de la uniformidad de distribución del agua en cualquier método. Son métodos muy exactos pero requieren de laboratorios, requieren de al menos 24 h para el secado de la muestra y son destructivos.

- Método gravimétrico
- Método volumétrico

- **Sonda de neutrones:** La sonda de neutrones es un instrumento que proporciona otra metodología para medir el contenido volumétrico de humedad del suelo. Los dos propósitos principales de su uso son medir el contenido de agua del suelo y relacionarlo con otras propiedades físicas del suelo y medir cambios del contenido de agua en el suelo (Estudios de riego y evapotranspiración)

Sus ventajas son la rapidez en la toma de medidas, se pueden extraer los datos en el mismo sitio y permiten muestrear un volumen considerable no viéndose afectadas por la salinidad.

Por contrapartida los inconvenientes son que se trabaja con una fuente radiactiva y se deben tomar medidas de precaución, tiene un precio elevado y requiere un calibrado para cada suelo u horizonte, requiere de medidas manuales porque no está automatizada.

- **Sensores dieléctricos:** Estas técnicas estiman la humedad volumétrica del suelo ( $\theta_v$ ) a partir de la medida de la constante dieléctrica de la matriz del suelo ( $\epsilon$ ). En un medio poroso, como el suelo, constituido por partículas minerales, aire y agua el valor de  $\epsilon$  es el resultado de la contribución relativa de cada uno de los componentes. Teniendo en cuenta que  $\epsilon$  es aproximadamente 1 para el aire, del orden de 3 para las partículas minerales y 80 para el agua, la constante dieléctrica aparente del suelo dependerá principalmente del porcentaje de agua presente en el suelo.
  - **Reflectometría de dominio del tiempo (TDR):** El equipo TDR mide el tiempo de propagación de un pulso u onda electromagnética a través de una línea de transmisión (sonda) colocada en el suelo y que está en estrecho contacto con el mismo. Como la velocidad de propagación es función de  $\epsilon$ , ésta puede ser obtenida a partir de la primera. Sus ventajas son que mide el  $\theta_v$  del suelo con un margen de error del 1%, no requiere calibración específica aunque puede ser útil, fácil realización de medidas múltiples, permite una amplia gama de configuraciones de sonda, alteración mínima del suelo y proporciona simultáneamente medidas de conductividad eléctrica. Por contrapartida los inconvenientes son el precio elevado, aplicabilidad limitada bajo condiciones de alta salinidad o alta conductividad (suelos muy arcillosos) y el volumen pequeño de muestreo.
  - **Reflectometría de dominio de frecuencias (FDR):** La capacitancia eléctrica de un capacitor que utiliza al suelo como dieléctrico depende del contenido de agua del suelo. Si se conecta a este capacitor un oscilador formando un circuito eléctrico, los cambios de humedad del suelo pueden ser detectados por cambios en la frecuencia de operación del circuito. Para determinar el contenido de agua se realiza un barrido de la frecuencia del oscilador dentro de un determinado rango y de este modo se obtiene la frecuencia resonante. Las ventajas son que tiene una buena calibración el margen de error puede ser del 1%, no afectan los niveles de salinidad altos, mejor resolución que el TDR, puede conectarse a dispositivos de almacenamiento masivo convencionales. Flexibilidad en la configuración de la sonda. Los inconvenientes son que la zona de influencia al efectuar las medidas es relativamente pequeña, es crítico conseguir un contacto íntimo entre el sensor y el suelo, la instalación debe ser cuidadosa para evitar espacios vacíos y requiere una calibración específica para cada tipo de suelo.

Del estado energético del agua en el suelo

- **Tensiómetros:** Los tensiómetros miden la succión o tensión del agua en el suelo, es decir, el potencial mátrico cambiado de signo ( $-\Psi_m$ ). Ahora bien, la lectura obtenida en el vacuómetro corresponde al potencial hidráulico del agua en el suelo ( $\Psi_H$ ), si se desprecia la altura del vacuómetro sobre el nivel del suelo y no al mátrico. Las ventajas son que tiene un bajo coste, mediciones in situ y no necesita curva de calibrado. Los inconvenientes que tiene una vida limitada, muestra efectos de histéresis y el rango de lecturas es limitado para suelos de textura fina.

- **Bloques de resistencia eléctrica:** Miden la tensión mátrica del agua en el suelo y sus aplicaciones son las mismas que de los tensiómetros, pero teniendo en cuenta que su rango de funcionamiento va de 0,5 a 15 bar serán más adecuados para suelos secos que para suelos bastante húmedos, como es el caso de las zonas húmedas en los riegos localizados. Los bloques de yeso actualmente más utilizados tienen un rango de lectura de 0,3 a 2 bar, rango que no cubre las condiciones de humedad entre capacidad de campo y saturación. Sin embargo, los de matriz granular si cubren estas condiciones presentando un rango de 0,1 a 2 bar. Pueden ser de yeso, Nylon o fibra de vidrio, de forma cilíndrica o prismas rectangulares.  
 Sus ventajas son el bajo coste, medidas en el mismo sitio y permite medir tensiones del agua mucho mayores que los tensiómetros. Los inconvenientes son que cada bloque debe ser calibrado independientemente, la curva de calibrado cambia con el tiempo y necesita recalibrado, la vida de los bloques es limitada, no sirven para realizar medidas de alta precisión, ya que éstas se pueden ver alteradas las temperaturas y muestran fenómenos de histéresis.
- **Cámara de presión de Richards:** Se suele utilizar para la determinación en laboratorio de las curvas características de humedad, es decir, las curvas que relacionan el contenido de agua con el potencial mátrico ( $\Psi_m$ ). Estas curvas son muy útiles en la determinación de dosis y frecuencias de riego y en el estudio de propiedades físicas del suelo, como lo es la conductividad hidráulica. También se utilizan para la calibración de los bloques de resistencia eléctrica y en la determinación del punto de marchitez ( $\theta_{pm}$ ). El conocimiento del contenido de humedad de un suelo viene dado en el punto de marchitez, es de especial interés en la programación de los riegos, este viene dado por el contenido de humedad que permanece en la muestra del suelo tras ser sometida a una presión de 15 bares.  
 El fundamento es que el agua de la muestra colocada en la cámara tiene en el equilibrio el mismo valor de tensión que el correspondiente a la presión a la que se encuentra sometida. Todas estas técnicas de medida permiten realizar un seguimiento del agua en el suelo, de modo que cuando el suelo alcanza un determinado valor previamente fijado se riega.

#### (T.2.4.) Ecuación de Richard. ¿Qué no se contempla en la ley de Darcy?

La ley de Darcy para régimen permanente no es suficiente para describir muchas de las situaciones que frecuentemente ocurren bajo condiciones de campo. Los cálculos son válidos para un corto período de tiempo, ya que el flujo de agua en el suelo origina cambios de contenido de humedad y, por tanto, también de  $K$  y  $\Delta\Psi_H$ , y si a ello se le unen las extracciones de agua por las plantas la ley de Darcy resulta tanto más limitada.

Para contemplar la naturaleza dinámica del flujo de agua en el suelo se requiere una ecuación más complicada, que para una única dimensión sería:

$$\frac{\partial \theta_v}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \left( K \cdot \frac{\partial \Psi_H}{\partial z} \right)$$

#### (T.2.3.) Explica el fenómeno de histéresis

Fenómeno que afecta a la relación entre el contenido de agua del suelo y su tensión. Por un mismo potencial, podemos tener dos contenidos de humedad distintos en función de si hemos llegado a ese contenido hídrico a través de la desecación o la humectación.

Por ello, para conocer con exactitud el contenido de agua del suelo hay que hacer una medida directa *in situ*.

#### (T.2.4.) Sensores eléctricos

Estas técnicas estiman la humedad volumétrica del suelo ( $\theta_v$ ) a partir de la medida de la constante dieléctrica de la matriz del suelo ( $\epsilon$ ). En un medio poroso, como el suelo, constituido por partículas minerales, aire y agua el valor de  $\epsilon$  es el resultado de la contribución relativa de cada uno de los componentes. Teniendo en cuenta que  $\epsilon$  es aproximadamente 1 para el aire, del orden de 3 para las partículas minerales y 80 para el agua, la constante dieléctrica aparente del suelo dependerá principalmente del porcentaje de agua presente en el suelo. Existen de dos tipos:

**Reflectometría de dominio del tiempo (TDR):** El equipo TDR mide el tiempo de propagación de un pulso u onda electromagnética a través de una línea de transmisión (sonda) colocada en el suelo y que está en estrecho contacto con el mismo. Como la velocidad de propagación es función de  $\epsilon$ , ésta puede ser obtenida a partir de la primera.

Sus ventajas son que mide el  $\theta_v$  del suelo con un margen de error del 1%, no requiere calibración específica aunque puede ser útil, fácil realización de medidas múltiples, permite una amplia gama de configuraciones de sonda, alteración mínima del suelo y proporciona simultáneamente medidas de conductividad eléctrica.

Por contrapartida los inconvenientes son el precio elevado, aplicabilidad limitada bajo condiciones de alta salinidad o alta conductividad (suelos muy arcillosos) y el volumen pequeño de muestreo.

**Reflectometría de dominio de frecuencias (FDR):** La capacitancia eléctrica de un capacitor que utiliza al suelo como dieléctrico depende del contenido de agua del suelo. Si se conecta a este capacitor un oscilador formando un circuito eléctrico, los cambios de humedad del suelo pueden ser detectados por cambios en la frecuencia de operación del circuito. Para determinar el contenido de agua se realiza un barrido de la frecuencia del oscilador dentro de un determinado rango y de este modo se obtiene la frecuencia resonante.

Las ventajas son que tiene una buena calibración el margen de error puede ser del 1%, no le afectan los niveles de salinidad altos, mejor resolución que el TDR, puede conectarse a dispositivos de almacenamiento masivo convencionales. Flexibilidad en la configuración de la sonda.

Los inconvenientes son que la zona de influencia al efectuar las medidas es relativamente pequeña, es crítico conseguir un contacto íntimo entre el sensor y el suelo, la instalación debe ser cuidadosa para evitar espacios vacíos y requiere una calibración específica para cada tipo de suelo.

### Tema 3. Medida del agua en el suelo

(T.3.) Escriba y explique cada uno de los términos de la ecuación básica del flujo del agua en el suelo para régimen permanente o "steady state" (Ley de Darcy) e indique sus unidades. 0,42

$$q = \frac{V}{A \cdot t} \xrightarrow{Q=V/t} \frac{Q}{A} = -K \frac{\Delta\Psi_H}{\Delta Z}$$

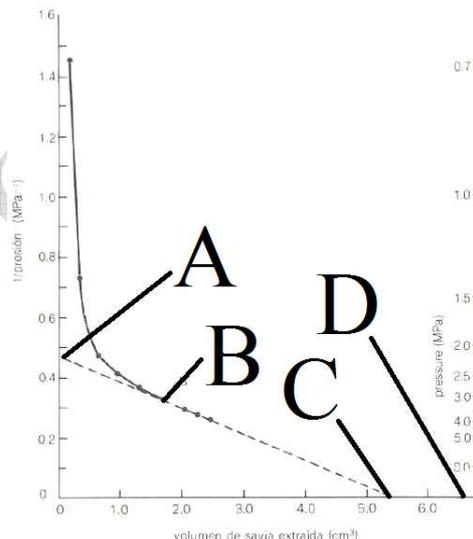
- Q: Unidades de velocidad en cm/h, descarga específica o flujo de agua (volumen de agua que atraviesa el suelo por unidad de área y por unidad de tiempo).
- K: Unidades de flujo en cm/h, coeficiente de proporcionalidad. Muy dependiente del contenido de agua para un mismo suelo, aunque **bajo condiciones de saturación constante**.
- $\Delta\Psi_H$ : En cm, diferencia de potencial hidráulico entre los puntos en los que se estudia el flujo.
- $\Delta Z$ : En cm distancia entre los dos puntos.
- -: el signo negativo indica que el flujo tiene lugar en sentido decreciente de  $\Psi_H$

## Tema 4 Relaciones hídricas en la planta

(T.4.1.) Cuáles son las principales propiedades que hacen del agua un compuesto excepcional, en cuanto a las plantas se refiere.

- Las fuerzas de cohesión y adhesión que están estrechamente relacionadas con los procesos de ascenso del agua en la planta por el xilema (transporte del agua).
- Su incompresibilidad (Facilita el ascenso capilar también).
- Su alto calor específico, superior a cualquier otro líquido o sólido. El agua tiene por definición un calor específico de 1, el cual no cambia prácticamente al cambiar la temperatura.
- Su alto calor latente de vaporización.
- La gran constante dieléctrica la hace un buen disolvente para las sales.

(T.4.2.) ¿Cuál es el significado fisiológico de los puntos A, B, C y D de la curva de presión/volumen que se aporta en la figura? En el caso de que alguno de los puntos disponga de nomenclatura específica indíquela. 0,25



La gráfica describe la relación presión/volumen para un tejido vegetal explicada por la ecuación de Tyree y Hammel, 1972.

$$\frac{1}{P} = \frac{V}{RTN_s - F(V)} = \frac{V_0 - V_e}{RTN_s - F(V)}$$

- A: Es el inverso del potencial osmótico del tejido a saturación (1/0,47=-2,1 MPa)

$$A = \frac{1}{\Psi_o} = \frac{V_o}{RTN_s}$$

- B: A turgencia 0, el potencial osmótico  $1/0,31 = -3,1$  MPa, punto de plasmólisis incipiente. Es el punto en que la gráfica comienza a ser lineal cuando  $F(V) = 0$

$$\frac{1}{P} = \frac{V_o}{RTN_s} - \frac{V_e}{RTN_s} = K - \frac{1}{RTN_s} V_e$$

- C: Volumen de agua libre del tejido o savia simplástica
- D: Volumen de agua total, determinado al secar en un horno

#### (T.4.3.) Ajuste elástico. Definición, unidades y expresión que lo caracteriza 0,2

La elasticidad de las paredes celulares depende de las interacciones químicas entre los distintos componentes de la pared celular. Una elevada elasticidad de las paredes celulares se corresponde con un modulo de elasticidad bajo,  $\varepsilon$  (MPa).

$$\varepsilon(\text{MPa}) = (\Delta P / \Delta V) V \quad \text{ó} \quad \varepsilon(\text{MPa}) = (\Delta P / \Delta CRA) CRA$$

Se habla de ajuste elástico cuando se producen cambios en las propiedades de las paredes celulares, inducidas por el déficit hídrico, que se traducen en una disminución significativa de  $\varepsilon$  (MPa) respecto al de idénticas plantas bajo condiciones de suministro hídrico adecuado.

#### (T.4.4.) Cite y comente las principales funciones que desempeña el agua en las plantas. 0,6

- Constituyente: El agua constituye el 80-95% del peso fresco de la mayor de parte de las plantas herbáceas y más del 50% en las leñosas.
- Disolvente: El agua actúa como disolvente para la mayor parte de los solutos almacenados en las células, de modo que éstos pueden moverse por difusión o flujo de masa de una parte a otra de la planta.
- Mantenimiento de la turgencia celular: Las plantas al carecer de esqueleto, requieren de la turgencia celular para la expansión y también para la fotosíntesis
- Refrigeración: En el proceso de transpiración la planta disipa una gran parte de la radiación absorbida en forma de calor latente de vaporización, evitando que se caliente excesivamente.
- Reactivo: Interviene en las reacciones químicas de la fotosíntesis y otros procesos metabólicos.

#### (T.4.5.) Indique los principales factores que determinan el estado hídrico de la planta

El estado hídrico de una planta viene determinado por una serie de factores ambientales y fisiológicos que son:

- Potencial del agua en el suelo ( $\Psi_i$ ): y por tanto todos los factores involucrados a su nivel, tales como, la lluvia, agua de riego, extracción del agua por el cultivo, propiedades hidrofísicas del suelo, etc.

- **Tasa de evaporación:** Donde existe toda una serie de factores ambientales y fisiológicos implicados (área foliar y exposición, arquitectura de la planta, nivel de conductancia estomática, etc.).
- **Conductancia hidráulica:** En raíz, tallo y hojas, este parámetro depende de las características físico-químicas de los tejidos vegetales e influye en la velocidad de transporte.
- **Estado de turgencia:** Que a su vez se puede ver modificado por el ajuste osmótico o elástico.

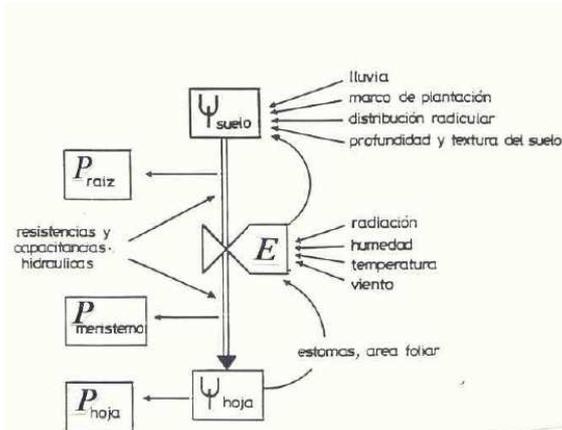
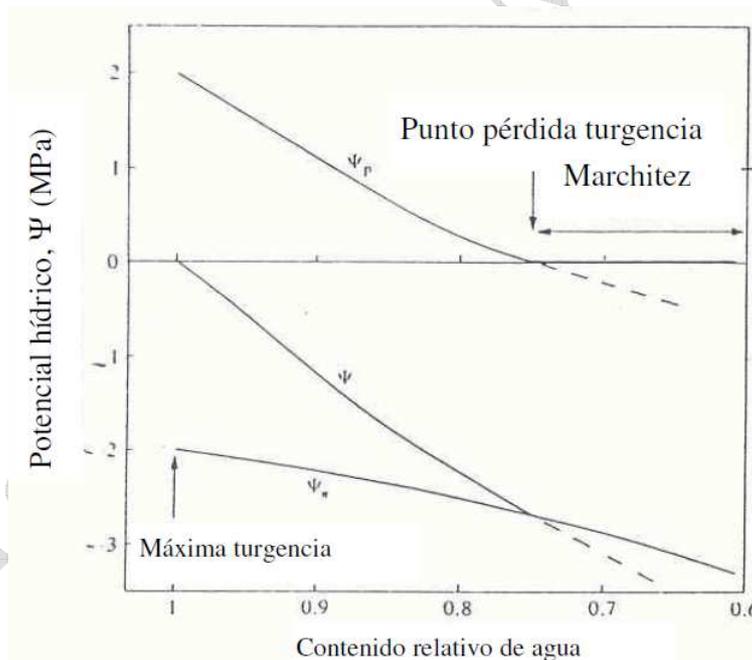


Diagrama de los factores que controlan el estado hídrico de la planta  $\Psi$ : potencial hídrico; P: Turgencia y E: Evaporación

(T.4.6.) Explique se representa mediante el diagrama de Höfler



Cuando la célula se ve sometida a cambios en su potencial hídrico se producen entradas o salidas de agua y estas afectan a su turgencia, volumen y concentración de solutos. El diagrama muestra la relación entre el potencial total de agua ( $\Psi$ ), el potencial de presión o de turgencia ( $\Psi_p$ ), el potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) y el contenido relativo de agua (CRA) en un célula (en realidad en la vacuola de la célula). Las líneas a trazos por debajo de turgencia cero representan una posible turgencia negativa.

(T.4.7.) Describa brevemente los distintos métodos existentes de medida de potencial foliar

Para la medida del potencial hídrico total del agua en la hoja se suelen utilizar instrumentos de laboratorio y de campo. Los primeros son más frecuentemente utilizados con fines de investigación, y entre ellos se encuentran los siccómetros y los osmómetros, y a nivel de campo la cámara de presión.

- **Siccómetros:** Permiten medir humedades relativas del aire cercanas al 100% con gran precisión. Esta medida se hace mediante termopares muy finos y requiere un control extremadamente bueno de la temperatura. Requieren el haber confeccionado previamente una curva de calibrado, para transformar las lecturas obtenidas en potenciales de agua.
- **Método de presión de vapor:** El tejido se coloca en un pequeño volumen cerrado de aire. El potencial hídrico del aire se equilibra con el potencial hídrico del tejido el cual cambia en grado insignificante en el proceso. El potencial hídrico del aire se determina midiendo la humedad a una temperatura conocida.
- **Cámara de presión:** Es uno de los métodos más utilizados para la medida del potencial hídrico foliar por su facilidad de uso, fiabilidad y rapidez, sin embargo, es un método que no permite ser automatizado

**(T.4.8.) [Junio 2015. (0,41)] Pasos a seguir en la determinación del contenido relativo de una hoja, ¿Cuál es la expresión utilizada en su determinación? y dé valores en un supuesto hipotético. ¿Cuál es el interés en su conocimiento.**

## Tema 5 Déficit hídrico y producción

**(T.5.) Explique y describa brevemente cuáles son las adaptaciones de la planta a la sequía.**

Con la relación a la sequía las plantas pueden presentar dos tipos de adaptación:

- **Evitación:** Ciclos muy cortos que concluyen antes de llegar al verano (evitan el verano).
- **Tolerancia**
  - **Posponer el déficit hídrico:** Sistemas radicales más profundos y densos, marchitamientos y enrollamiento de hojas, estomas muy sensibles a las condiciones que favorecen la transpiración y cutículas gruesas, etc.
  - **Aumentan la tolerancia a ellos:** Capacidad de las células de algunas plantas a tolerar potenciales hídricos muy bajos.
    - ❖ **Ajuste osmótico:** Aumenta la concentración de solutos en la vacuola inducido por el estrés hídrico y es mayor debido al cambio en el volumen celular como consecuencia de la deshidratación parcial.
    - ❖ **Ajuste elástico:** La célula altera sus propiedades de las paredes inducidas por el déficit hídrico que se traduce en una disminución significativa de  $\epsilon$  (MPa) respecto a plantas bajo condiciones de suministro hídrico adecuado.

**(T.5.) Defina el término estrés ¿Cuándo se dice que una planta se encuentra estresada hídricamente? y escriba la expresión que reúne las diferentes causas que afectan al valor del potencial hídrico foliar ( $\Psi_{\text{hoja}}$ ), con aclaración de la nomenclatura empleada. 0,6 (Pregunta repetida en varios exámenes)**

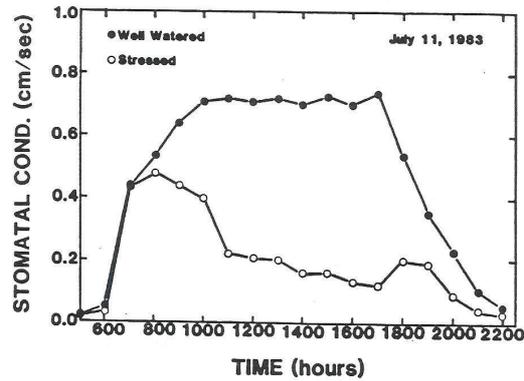
Estrés: Desde el punto de vista biológico, cualquier factor del medio ambiente que altera el normal funcionamiento de las plantas.

Cuando su potencial hídrico (especialmente  $\Psi_p$ ) disminuye lo suficiente como para alterar su normal funcionamiento.

$$\Psi_{\text{hoja}} = \Psi_{\text{suelo}} + \Delta\Psi_g - TR \cdot R_{\text{suelo-hoja}}$$

- Valores bajos del potencial hídrico del agua en el suelo
- Altos flujos de transpiración o por resistencias elevadas al flujo de agua en todo su recorrido
- La altura del árbol también puede contribuir a una caída de  $\Psi_{\text{foliar}}$
- $\Delta\Psi_g$ : Diferencia de  $\Psi_g$  entre el agua del suelo y la hoja

**(T.5.) Comente la gráfica sobre el cierre estomático en pistachero en condiciones normales y de estrés**



Se observa cómo bajo condiciones no limitantes de agua en el suelo la conductancia va aumentando desde la salida del sol hasta alcanzar un valor máximo que en el ejemplo tiene lugar a las 10:00 horas y pertenece relativamente constante hasta las 17:00. Esto contrasta radicalmente con la de los árboles estresados que muestran su máxima apertura en torno a las 08:00 para disminuir a continuación, excepto con ligeros aumentos alrededor de las 18:00-19:00. De modo que el estoma permanece parcialmente abierto sólo durante un corto periodo de tiempo coincidiendo con las primeras horas de la mañana cuando la demanda evaporante es menos severa y empieza a cerrarse cuando está comienza a elevarse. Este patrón de conducta permite asimilar la máxima cantidad de CO<sub>2</sub> con la mínima pérdida de agua.

## Tema 6. Necesidades hídricas de los cultivos bajo riego por goteo

**(T.6.1.) Indique los principales métodos directos e indirectos de estima o de medida de ET (Evaporación o necesidades hídricas de los cultivos) y como pueden clasificarse.**

Medida indirecta:

- Métodos micro meteorológicos: fórmulas empíricas que utilizan datos meteorológicos. Medida directa en evaporación de agua en un tanque de Clase A, en que el agua evaporada está relacionada con la evapotranspiración del cultivo en esa zona. El método que más se utiliza es el método de Penman-Monteith.
- Método de balance de agua en el suelo: cuantificar cantidades que entran, salen o permanecen en un volumen de suelo en un tiempo.
- Métodos fisiológicos: miden las pérdidas de agua por transpiración de una parte de la planta o la planta entera a partir de medidas de flujo de savia, equivalentes a la transpiración.

Medida directa:

- Lisimetría de pesada: 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 diferencia de peso.

**(T.6.2.) Explique a partir de la ecuación del balance de energía, las razones por las que en los riegos localizados “E” del suelo es menor y TR es mayor que en riego tradicional**

$$RN = G + H + E + M$$

- G: energía utilizada en el calentamiento del suelo
- H: energía utilizada en la transferencia de calor sensible
- E: energía utilizada en transferencia de vapor de agua
- M: energía disipada en procesos metabólicos en el calentamiento del suelo

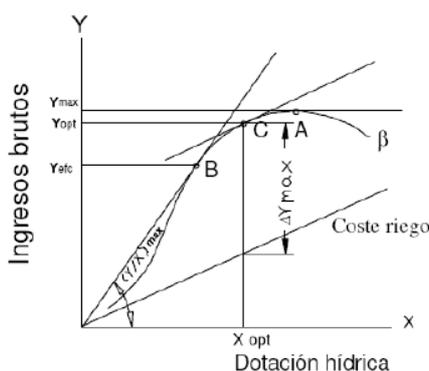
En zonas secas, el término E pierde importancia relativa debido a la disminución del gradiente de vapor entre superficie del suelo y aire. En esas condiciones el término G, adquiere un mayor peso, produciéndose un calentamiento de la superficie del suelo, que se comportará como un emisor de radiaciones de onda larga. 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. Una segunda fuente de energía “extra” al cultivo puede venir a través de transferencia de aire caliente por microadvección desde las zonas secas. Este sistema de riego puede resumirse en :

- Menor evaporación
- Mayor energía disponible para la transpiración

## Tema 7. Diseño agronómico del riego localizado

**(T.7.1.) Programación del riego. Explique los 3 criterios de programación de acuerdo al fin perseguido y recójalos en una gráfica (no olvide dar nombre a los ejes y a cuanto sea destacable). 0,6**

- Criterio técnico puro: Su objetivo es maximizar la producción por unidad de superficie. Se puede llevar a cabo en zonas con amplia disponibilidad de agua y costes de riego bajos.
- Criterios con fines económicos: Su objetivo es maximizar la producción por unidad de agua aplicada, máxima eficiencia en el uso del agua, se aplicará donde el agua sea cara y no sea abundante.
- Criterio con fines técnico-económicos: Su objetivo es maximizar el beneficio en la aplicación del agua, se deben conocer las funciones de producción.



Curva  $\beta \rightarrow$  respuesta económica de un cultivo al aporte hídrico

Punto A: Óptimo agronómico

Punto B: Máximo rendimiento por unidad de agua aplicada

Punto C: Óptimo económico

**(T.7.2.)[Junio 2015. Febrero 2015. (0,2)]¿Qué valores suele tomar la fracción de agotamiento permisible del agua en el suelo en los riegos localizados?¿Cuándo se suelen usar los valores más bajos y cuándo los más altos de dicho rango de valores?**

En los riegos por goteo suele tomar valores comprendidos entre 0.15-0.3. Los valores más altos (0.3) en los meses de invierno y los valores más bajos (0.15) en los meses de verano.

**(T.7.3.)[Junio 2015. (0,21)] Cuál es el rango de valores preriego recomendado en los riegos localizados cuando se utiliza el potencial matricial del agua en el suelo como indicador de los necesidades de riego? Y ¿cuándo se deben utilizar los valores más bajos y cuando los más altos de dicho rango? 0.2ptos**

Los valores en los que hay que regar son de 15-25 cbar. Los valores más bajos de cada rango se aplicarán en condiciones de alta evapotranspiración y los más altos en condiciones de baja evapotranspiración.

\*Según Taylor las tensiones del suelo óptimas preriego para el cultivo en riego tradicional son de 50-70 bar, teniendo en cuenta la figura, tensiones a 3 profundidades. Valorar el riego y justificar:

- 1<sup>er</sup> riego: Dosis excesiva, demasiado pronto el riego
- 2<sup>o</sup> riego: Buen riego, dosis buena
- 3<sup>er</sup> riego: Dosis excesiva, condiciones de saturación
- 4<sup>o</sup> riego: Dosis buena pero se demoró

## Tema 8. Elementos de un sistema de riego localizado

**(T.8.1.) Filtros, criterios a utilizar en la elección del diámetro efectivo de la arena en los filtros arena y del tamaño de los orificios o abertura en los de malla. Defina número Mesh e indique los tipos de malla más utilizadas en riego por goteo de acuerdo con su número Mesh. 0,65 (Preguntado en varios exámenes)**

En los filtros arena, en la selección de la arena hay que tener en cuenta que las partículas que pasan deben tener un diámetro menor de 1/10 el diámetro mínimo del gotero o 1/5 si es un microaspersor o difusor.

En los filtros malla el tamaño de apertura estaría entre 1/7 y 1/10 del tamaño mínimo del paso del emisor  
Nº Mesh: Número de orificios por pulgada lineal

Las más utilizadas son 120 Mesh, 155 Mesh, y 200 Mesh.

**(T.8.2.) Ordene los principales tipos de inyector de fertilizantes a la red de riego de menor a mayor grado de proporcionalidad en la inyección. 0.22ptos**

De menor a mayor

Tanques de fertilización < Inyectores < Bombas

- Tanques de fertilización: son inyectores por presión diferencial. No son proporcionales y las concentraciones de inyección de fertilizantes disminuyen progresivamente

$$Q = Q_0 * e^{(-\frac{GT}{V})}; \text{ donde:}$$

T: tiempo transcurrido desde el inicio del abonado.

V: volumen del tanque

G: caudal que circula por el tanque

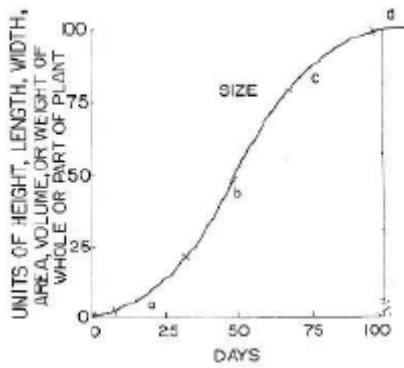
Q<sub>0</sub>: cantidad inicial de abono en el tanque

Es un fenómeno de dilución afecta la exactitud en la dosificación

- Inyectores Venturi: estos son estrechamiento pronunciado en el circuito promueve la aspiración desde el tanque de fertilizantes. Aunque provocan pérdidas de carga importantes, son sensiblemente proporcionales.
- Bombas dosificadoras: son inyectores proporcionales, con posibilidad de regulación o no. Utilizan depósitos de fertilizantes normales sin refuerzos al igual que el inyector Venturi.

**(T.8.3.) [Junio 2015. Febrero 2015 (0,45)] Haga una representación gráfica del patrón de crecimiento de una parte a toda la planta en un ciclo vegetativo. Explique los periodos diferenciales de la función típica representada. 0,60**

El patrón de crecimiento en un ciclo vegetativo es típicamente caracterizado por una función sigmoidea. Si la masa de la planta (materia seca), volumen, área foliar, altura o acumulación de sustancias químicas es trazada en función del tiempo, la línea de ajuste a los datos será normalmente sigmoidea. La curva resulta de tasas diferenciales de crecimiento durante el ciclo de vida.



Existe un período corto de 1 ó 2 semanas sin ganancia en materia seca, seguido de un período de crecimiento exponencial (a)- le sigue un periodo relativamente largo (b) de aumento a una tasa relativamente constante y a esta fase le sigue otra (c) en la que la tasa de crecimiento declina. El aumento se va haciendo progresivamente menor hasta alcanzar un estado constante al que se le denomina madurez fisiológica. Es una función expo-lineal

#### (T.8.4.) Automatización por tiempos

En este método el tiempo de aplicación del riego se determina en función de la dosis necesaria, caudal de los emisores y número de emisores planta. Esta automatización se basa en dos elementos: electroválvulas y programadores eléctricos. Los programadores mediante unos dispositivos abren y cierran unos circuitos eléctricos a las horas señaladas. Estos circuitos accionan los solenoides de las electroválvulas que suelen está normalmente cerradas y se mantienen abiertas mientras reciben la señal eléctrica.

#### (T.8.5.) Automatización por volúmenes y cuáles son sus niveles de automatización

En este método se va midiendo el agua aplicada en cada riego y cuando se alcanza el volumen programado se interrumpe automáticamente el paso del agua. En la automatización por volúmenes se distinguen distintos niveles:

- Nivel 0 de automatización: Corresponde a la operación manual, el riego se realiza abriendo y cerrando las válvulas de paso a cada unidad, un contador indica el momento de cierre (sistema muy sencillo).
- Nivel 1 de automatización: Cada unidad dispone de una válvula volumétrica que se abre manualmente. Cuando ha pasado la cantidad de agua marcada en el dial de la válvula, ésta se cierra automáticamente. Se pueden preparar de forma secuencial.
- Nivel 2 de automatización: Riego secuencial con válvulas volumétricas.
- Nivel 3 de automatización: Riego con programación electrónica por volúmenes o de automatización total a partir del empleo de ordenadores de riego. 3 elementos fundamentales:
  - Contadores de agua dotados de algún sistema de transmisión de datos
  - Programador de riego
  - Electroválvulas

#### (T.8.6.) Criterio general para proceder a la limpieza de los filtros

Es obligada la revisión periódica del estado de colmatación de los filtros. Se recomienda como norma general la limpieza de los filtros de arena cuando la diferencia de presión entre la entrada y la salida del conjunto sobrepase los 2-3 m.c.a. respecto a la pérdida inicial.

#### (T.8.7.) Filtro malla

Consisten en una fina pantalla (acero inoxidable, poliéster, nylon) o discos encajados dentro de un recinto cerrado. Se usan a menudo como unidad de filtración primaria para aguas de pozos. Eliminan limo, arenas y costras. Las mallas varían entre 4-450 mesh. Se utilizan también como filtros protectores por fallos en los filtros arena. Requieren limpieza periódica y cuidadosa atención. El tamaño de apertura del filtro estaría entre 1/7 y 1/10 del tamaño mínimo de paso del emisor. Las mallas frecuentemente en riegos por goteo son de 120, 155, 200 mesh.

## Tema 9. Programación por tiempos del riego por goteo

### (T.9.1.) Coeficiente de uniformidad

Sirve para evaluar homogeneidad en la eficiencia de riego en el sistema, y se determina con el criterio de evaluación propuesto por Pizarro (1996), que se define con la siguiente expresión:

$$CU = \frac{q_{25\% \min}}{q}$$

Donde:

- $q_{25\% \min}$ : Caudal medio recibido por el 25% de los emisores que reciben menos caudal en la prueba.
- $q$ : Caudal medio de los emisores evaluados en la prueba de campo

### 14. ¿Qué significa la siguiente tabla?

Tabla 7. Ácidos fertilizantes

Densidad	Riqueza % en peso	
	HNO <sub>3</sub>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
1,20	33	34
1,30	48	46
1,33	54	-
1,40	65	56
1,60	-	75

Es importante conocer la densidad.

34 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por cada 100g de producto (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>).

El nitrógeno establece el equilibrio en un fertilizante. La urea es la menos tiene de índice de salinidad.

1 unidad = 1kg de producto puro

### 15. Análisis químicos del suelo:

Para saber el cambio catiónico, pH, CaCO<sub>3</sub>, antagonismos, sinergismos..

### 16. Ley de la restitución:

Cantidad mínima a aportar

## Tema 10. Riego Deficitario controlado en frutales

**(T.10.1.) ¿Que características son consideradas como más relevantes de cara a establecer la idoneidad de éste para ser utilizado en estrategias de riego deficitario controlado. O TAMBIÉN PREGUNTADO COMO. Enumera principales factores que condicionan la implantación de estrategias de RDC en una plantación de árboles frutales:**

- **Suelo:** Las características del suelo determinarán la percolación que se produce de agua.
- **Crecimiento vegetativo y del fruto:** En algunos cultivos, uno de los objetivos del riego deficitario controlado es evitar un excesivo vigor de la planta que pudiera inducir efectos negativos en la fructificación. Esto requiere una clara separación entre los procesos de crecimiento de los ramos y del fruto, de manera que la reducción del riego afecte al primero pero no al segundo.
- **Periodos críticos:** Son los periodos donde la deficiencia de agua es más perjudicial de cara a la producción de las cosechas, es importante determinarlos bien para aplicar los RDC en los periodos no críticos.
- **Resistencia sequía:** Es importante conocer la capacidad que tiene el cultivo para adaptarse a situaciones de déficit hídrico para diferenciar las fases y realizar crecimientos compensatorios tras el déficit hídrico.
- **Clima:** Las condiciones climáticas pueden condicionar la aplicación de estas estrategias de riego. Dada la necesidad de generar un déficit hídrico, son preferibles las zonas de escasa pluviometría.
- **Sistema riego:** Influirá en la evaporación del agua en la superficie
- **Características plantación:** Las características genéticas, el marco de plantación, influirá en las pérdidas del cultivo y su capacidad de adaptación.

**(T.10.2.) [Junio 2015. (0,35)] ¿Qué parámetros influyen de forma más relevante en las dimensiones del volumen humectado por un gotero?**

## Tema 11. Fertirrigación

### (T.11.1.) Fertilizantes más utilizados, fórmula, riqueza, solubilidad

- Ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ): se utiliza para acidificar el agua de riego y para la limpieza de las instalaciones. Es un fertilizante, aunque no es considerado como tal.
- Nitrato cálcico ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ): utilizado para aplicar Ca principalmente y como consecuencia N.
- Nitrato amónico ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ): sal muy soluble que contiene la mitad de N en forma amoniacal y la otra mitad nítrica. Reacción ligeramente ácida.
- Nitrato magnésico ( $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ): incorpora además del 11% de N y un 9,5% de Mg.
- Sulfato amónico ( $\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ): suele emplearse para aportar S, es incompatible con soluciones cálcicas concentradas.
- Fosfato monoamónico ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ): da reacción ácida lo que disminuye el riesgo de obturaciones.
- Fosfato diamónico ( $\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ): da una reacción alcalina lo que se debe emplear con ácido.
- Ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ): utilizado para aplicar P y como acidulante de la disolución.
- Sulfato potásico ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) aporta S pero su solubilidad es baja e incompatible con sales cálcicas en soluciones concentradas (50%  $\text{K}_2\text{O}$ )
- Nitrato potásico ( $\text{KNO}_3$ ): muy utilizado, incorpora dos macronutrientes. Reacción neutra.
- Fosfato monopotásico ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ): tiene un alto contenido en P y gran movilidad.

### (T.11.2.) [Junio 2015, Febrero 2015. (0,45)] Define índice salino de un fertilizante. Si tuviese que mezclar fertilizantes sólidos en un mismo depósito para satisfacer necesidades de N, $\text{P}_2\text{O}_5$ y $\text{K}_2\text{O}$ que fertilizantes elegiría y por qué

Indica la contribución del fertilizante al aumento de la salinidad de la solución fertilizante por unidad de peso o por unidad de fertilizante (UF) y se expresa con relación al  $\text{NaNO}_3$

Utilizaríamos nitrato potásico ( $\text{KNO}_3$ ) incorpora dos macronutrientes con una reacción neutra y no nos daría problema al mezclarlo con otros fertilizantes, utilizaríamos ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) para aportar P y acidulará la disolución para evitar problema de obstrucciones, por último utilizaremos el nitrato amónico ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) que es una sal muy soluble que contiene la mitad de N en forma amoniacal y la otra mitad nítrica siendo un ácido débil en interacción con el ácido fosfórico no tendría problema de obstrucción.

### (T.11.3.) Cite los argumentos en los que se basa el análisis foliar (Bould 1966) como mejor método del diagnóstico del estado nutritivo de una plantación?

- Las hojas es el principal lugar de metabolismo de la planta
- Los cambios en la aportación de nutrientes se reflejan en la composición de la hoja
- Esos cambios son más pronunciados en ciertos estadios de desarrollo
- Las concentraciones de nutrientes en la hoja en períodos específicos de crecimiento están relacionados con el comportamiento del cultivo.

Las hojas, en general, son los órganos que proporcionan una información más precisa de la absorción de los distintos elementos por la planta, puesto que son muy sensibles a los cambios en el medio nutritivo. Nos basamos en que los elementos tienen una evolución (variaciones) a lo largo del tiempo. Por ejemplo, cuanto mayor es la radiación, más disminuirá la concentración de nitratos. Si no hay humedad en el suelo los elementos no van a ser asimilados por la planta.

**(T.11.4.) [Junio 2015. Febrero 2015. (0,4)]¿Qué condiciones son esenciales para que el crecimiento celular tenga lugar? ¿por qué?**

Existen dos categorías de factores de crecimiento: externos (ambientales) e internos (genéticos):

**Genéticos**

- Estado de desarrollo en que se encuentra: la constitución genética de la planta conlleva una serie de instrucciones que determinan el crecimiento potencial del órgano en un momento determinado.
- Señales ambientales: las plantas son capaces de captar determinadas señales ambientales que alteran la velocidad de crecimiento de los órganos, o el patrón de reparto de asimilados.

**Ambientales**

- Temperatura. La actividad celular es muy sensible a la temperatura. La curva de respuesta de la velocidad de crecimiento de un órgano frente a la temperatura depende de la especie y del órgano considerado, aunque en general se encuentra un óptimo relativamente amplio entre valores de 15-25°C
- Disponibilidad de asimilados: requiere de materias primas y depende por lo tanto del flujo de carbohidratos y nutrientes hacia ese órgano. Hablamos de relaciones “fuente/sumidero”: interacciones entre disponibilidad de asimilados (fuente) y capacidad de crecimiento (sumideros).
- Limitaciones: Respuesta de la planta a la deficiencia en nutrientes.

Jorge Cerezo Martínez

## Tema 12

### (T.12.1.) Diferencias entre riego deficitario y controlado

**Riego deficitario:** Es una alternativa para mejorar la eficiencia del riego y reducir los aportes de agua en zonas con escasa disponibilidad de agua. Solo una fracción de las necesidades de agua de las plantas y no satisfecha por las lluvias es reemplazada por el riego. El riego deficitario debe repartir uniformemente el déficit de agua durante todo el ciclo para evitar la ocurrencia de estrés severo en algún momento. Es decir, es un riego deliberado y sistemático con menos agua de la que necesitan los cultivos para su máxima producción.

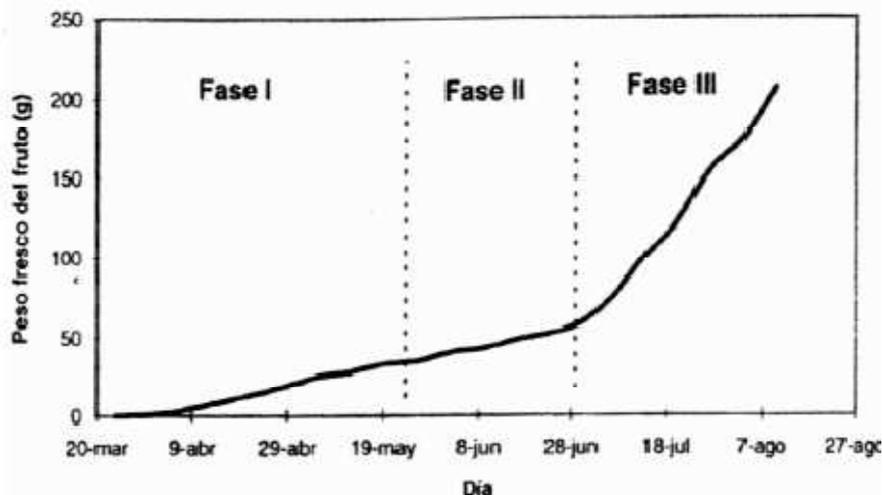
**Riego deficitario controlado:** presenta un enfoque más fisiológico que el riego deficitario. El déficit hídrico puede resultar más o menos trascendente en función del momento fenológico en el que ocurre, de su intensidad y duración. Consiste en la aplicación de cantidades de agua inferiores a las necesarias (o Etc) durante períodos determinados del ciclo del cultivo en los cuales la producción y la calidad sean poco (o nada) afectados y aplicar el total de dichas necesidades durante el resto del ciclo y sobre todo en aquellos en que la producción y/o la calidad son más afectados por la falta de agua (periodos críticos) Es decir, el RDC respecto al RD tiene en cuenta el estado fenológico del cultivo como su capacidad para resistir situaciones de déficit hídrico. Considera que el déficit hídrico puede resultar más o menos trascendente en función del momento fenológico en el que ocurre, su intensidad y duración.

### (T.12.2.) Indique por qué el melocotonero es considerado como un planta modelo para ser utilizado en estrategias de riego deficitario

El melocotonero es una planta modelo para ser utilizada para este tipo de estrategias, debido al hecho de poseer un conjunto de características favorables:

- Separación de los procesos de crecimiento vegetativo y del fruto.
- Diferenciación clara de las tres fases del crecimiento del fruto
- Capacidad del fruto para realizar crecimientos compensatorios tras el déficit hídrico
- Disponibilidad de combinaciones variedad/patrón adecuadas para altas densidades de plantación, etc

### (T.12.3.) Fase crítica melocotonero. ¿Fase no crítica?



La fase crítica del melocotonero es la fase III, es momento del ciclo del cultivo donde la deficiencia de agua es más perjudicial de cara a la producción y calidad de las cosechas. Más sensible al déficit hídrico. Los periodos no críticos:

Fases I y II del crecimiento del melocotón, de tal manera, que el RDC en estas fases genera una mayor producción y número de frutos de calidad extra que en el control y ahorramos un 34 % de agua. Para “Golden Queen”. Ensayo: Mitchel y Chalmers.

Fases I y II y postcosecha, el RDC en estas fases genera un menor número de frutos de calidad extra que el control, por lo tanto menor rentabilidad económica del RDC. Ahorramos un 40 % de agua. Para “Spring Lady” y “CalRed”. Ensayos: Girona y Ruiz-Sánchez.

Fases I y postcosecha: no hay efectos sobre la producción y posibilita ahorros moderados de agua (8%). Para “Sudanel”. Ensayos: Girona et Al.

#### **(T.12.4.) Fases en los que se puede aplicar riego deficitario en almendro, melocotonero y limonero**

- Melocotonero: fase I y II de crecimiento del fruto y período de post-cosecha
- Almendro: durante la fase IV de acumulación de materia seca en el grano
- Limonero: Todo el ciclo excepto la fase II de rápido crecimiento del fruto

El uso del Riego Deficitario Controlado en estas fases presenta ahorros de agua sin efectos sobre la producción.

#### **(T.12.5.) [Junio 2015. 0,42] Características que hacen que un cultivo leñoso sea considerado idóneo para ser utilizado en estrategias de RDC**

## Tema 13

(T.13.1.) Enumera los principales factores que determinan la velocidad de crecimiento de un órgano vegetal y explicáelos brevemente. También preguntado cómo: ¿Qué condiciones son esenciales para que el crecimiento celular tenga lugar? ¿por qué?

Existen dos categorías de factores de crecimiento: Externos (ambientales) e internos (genéticos). Depende esencialmente de los siguientes factores:

### Genéticos

- **Estado de desarrollo en que se encuentra:** La constitución genética de la planta conlleva una serie de instrucciones que determinan el crecimiento potencial del órgano en un momento determinado.
- **Las señales ambientales:** Las plantas son capaces de captar determinadas señales ambientales como la relación rojo/rojo lejano, que alteran la velocidad de crecimiento de los órganos, o, más concretamente el patrón de reparto de asimilados. Si la planta se encuentra sombreada, la R/FR es más baja, lo que provoca un mayor crecimiento del tallo y un menor crecimiento de las hojas.

### Externos

- **Temperatura:** La actividad celular es muy sensible a la temperatura. En general el óptimo de temperatura para la división celular es 5-6°C mayor que el óptimo para la expansión celular. La curva de respuesta de la velocidad de crecimiento de un órgano frente a la temperatura depende de la especie y del órgano considerado, aunque en general se encuentra un óptimo relativamente amplio entre valores de 15-25°C.
- **Disponibilidad de asimilados:** El crecimiento de un órgano requiere materias primas y depende, por lo tanto, del flujo de carbohidratos y nutrientes hacia ese órgano. Es decir, las relaciones fuentes/sumidero
- **Limitaciones de los factores de crecimiento:** Como la Ley de Liebig y Mitscherlich, explican la respuesta de la planta a la deficiencia en nutrientes.

(T.13.2.) Alometría, definición, expresión matemática y relaciones frecuentes estudiadas en el análisis del crecimiento de la planta

**Alometría o relaciones alométricas:** Las relaciones entre las tasas de crecimiento de partes individuales de un órgano u organismo, están basadas en los pesos secos más que en dimensiones, es la proporcionalidad de sus partes que nos permiten caracterizar una planta y se conservan en espacio y tiempo.

$Y = b x^k$  donde  $x$  e  $y$  son los parámetros físicos y  $b$  y  $k$  son constantes. El valor  $k$  (exponente alométrico) se obtiene a partir de:

$$\log y = \log b + k \log x$$

**Relaciones estudiadas:** Si la longitud y la anchura de un órgano se expanden de la misma velocidad la pendiente de la línea de regresión será 1 (coeficiente alométrico) y ambas tasas de crecimiento estarán perfectamente correlacionadas. Estas relaciones ratio brotes/raíz, tiene una significación fisiológica, ya que puede reflejar un tipo de tolerancia al estrés hídrico. Aunque este ratio está controlado genéticamente está fuertemente influenciado por el ambiente. Como en arroz la fertilización nitrogenada tiene una influencia pronunciada. Así mismo, la relación crecimiento es mayor en copa cuando nitrógeno y agua están en abundancia, que cuando están limitados el crecimiento se decanta hacia la raíz.

(T.13.3.) Importancia fenología/fisiología del almendro (fases del ciclo anual del almendro)

Un aspecto claramente positivo del almendro para ser utilizado en estrategias de RDC es que durante la fase de llenado del grano (fase IV), que coincide con los meses de mayor demanda evaporativa (junio-

agosto) y cuando bajo nuestras condiciones mediterráneas el déficit de recursos hídricos se acentúa es el período más adecuado para el ahorro de agua, tal como se recoge en las estrategias ensayadas.

- Fase 1: floración y primeras hojas
- Fase 2: crecimiento de la longitud de las brotaciones y del fruto.
- Fase 3: Crecimiento de la longitud del fruto, longitud del grano, y empieza el llenado del grano; las brotaciones decrecen.
- Fase 4: La longitud del fruto y del grano se estabilizan mientras que el peso seco del grano aumenta de manera lineal