

Relaciones agua-suelo-planta-atmósfera

Temario

Contenidos hídricos referenciales

Potencial de agua

Curvas de capacidad hídrica

Sensibilidad al déficit hídrico

Umbral de riego

Cálculo de lámina e intervalo de riego

RASPA

- Subsistemas
 - agua-suelo
 - agua-suelo-planta
 - agua-suelo-planta-atmósfera
- Cuanto regar?
 - Lamina Neta
- Cuando regar?
 - Intervalo de riego

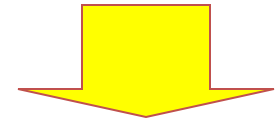
Subsistema agua-suelo

- Agua del suelo
 - Gravitacional: drena, el suelo no la sostiene (disp.)
 - Capilar: sostenida por el suelo (disp.)
 - Higroscópica: fuertemente retenida (no disp.)
- Porosidad total
 - Macroporos (aireación y movimiento del agua)
 - Microporos (almacenamiento de la humedad edáfica)

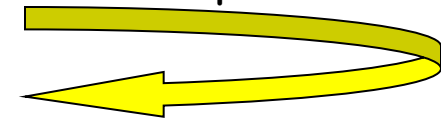
Densidad real y aparente de los suelos



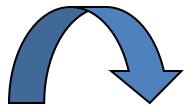
Densidad real:



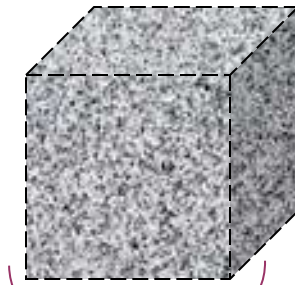
Si todos los sólidos fueran comprimidos



Densidad aparente:



Se tiene 1cm^3 de un suelo dado



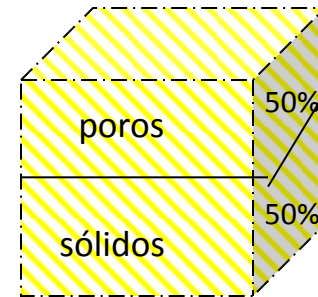
Sólidos y espacios porosos

Volumen = 1cm^3

Peso = 1,33gr

$D_a = \frac{1,33}{1} = 1,33\text{g/cc}$

1



Volumen = $0,5\text{ cm}^3$

Peso = 1,33gr

$D_r = \frac{1,33}{0,5} = 2,66\text{g/cc}$

0,5

Densidad aparente

TEXTURA	Δ_{ap} g/cm ³
Arenoso	1,6 (1,5-1,7)
Francoarenoso	1,5 (1,4-1,6)
Franco	1,4 (1,35-1,5)
Francoarcilloso	1,35 (1,3-1,4)
Arcilloarenoso	1,3 (1,2-1,4)
Arcilloso	1,2 (1,1-1,3)

Subsistema agua-suelo

- Agua del suelo
 - Gravitacional: drena, el suelo no la sostiene (disp.)
 - Capilar: sostenida por el suelo (disp.)
 - Higroscópica: fuertemente retenida (no disp.)
- Porosidad total
 - Macroporos (aireación y movimiento del agua)
 - Microporos (almacenamiento de la humedad edáfica)
 - $P (\%) = 100 (1 - (\delta_{ap}/\delta_r)$
 - δ_{ap} = densidad aparente, g/cm³
 - δ_r = densidad real, g/cm³ (2,5-2,7)

Subsistema agua-suelo

- Contenido hídrico
 - W = agua evaporada a 105 grados hasta peso constante
- Contenido hídrico gravimétrico
 - $W_p (\%) = ((P_{sh} - P_{ss}) / P_{ss})$
 - P_{sh} = peso del suelo húmedo, en g.
 - P_{ss} = peso del suelo seco, en g.
 - Ejemplo:
 - $P_{sh} = 82,4 \text{ g}$ $P_{ss} = 65,5 \text{ g}$
 - $W(\%) = 25,8 \%$ (25,8 g de agua cada 100 g de suelo)

Subsistema agua-suelo

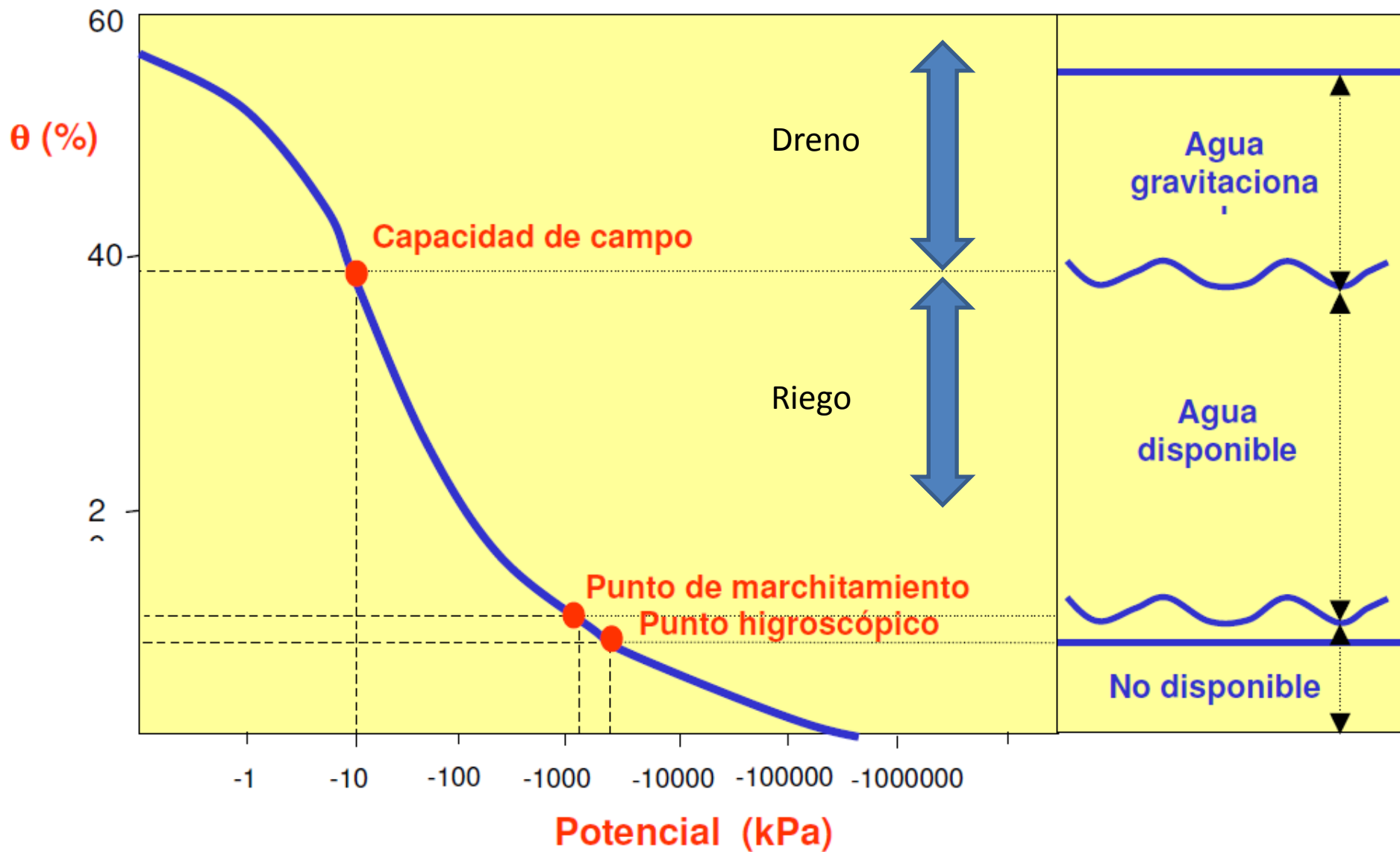
- Contenido hídrico volumétrico
 - $W_v (\%) = (V_a/V_t)100$
 - V_a = volumen de agua, en cm^3 .
 - $V_t = 100 \text{ cm}^3$ de suelo.
 - $W_v (\%) = W_p (\%) \cdot \delta_a = \text{cm de agua} / 100 \text{ cm de suelo} = \text{mm de agua} / 10 \text{ cm de suelo} = \text{mm de agua} / \text{dm de suelo}$
 - lamina de agua $d = W_p \cdot \delta_a \cdot D / 100$ (D =espesor en dm)

Subsistema agua-suelo

- **ψ = potencial de agua del suelo, energía libre equivalente o potencial hídrico total**
 - Trabajo para transportar, reversible e isotérmicamente, agua desde un reservorio de agua pura, de un punto específico y bajo presión atmosférica, hasta el agua del suelo.
 - Es el trabajo necesario para quitarle agua al suelo
 - Aumenta cuando disminuye, su valor es negativo.
 - El ψ máx = 0 corresponde al agua pura y libre

Subsistema agua-suelo

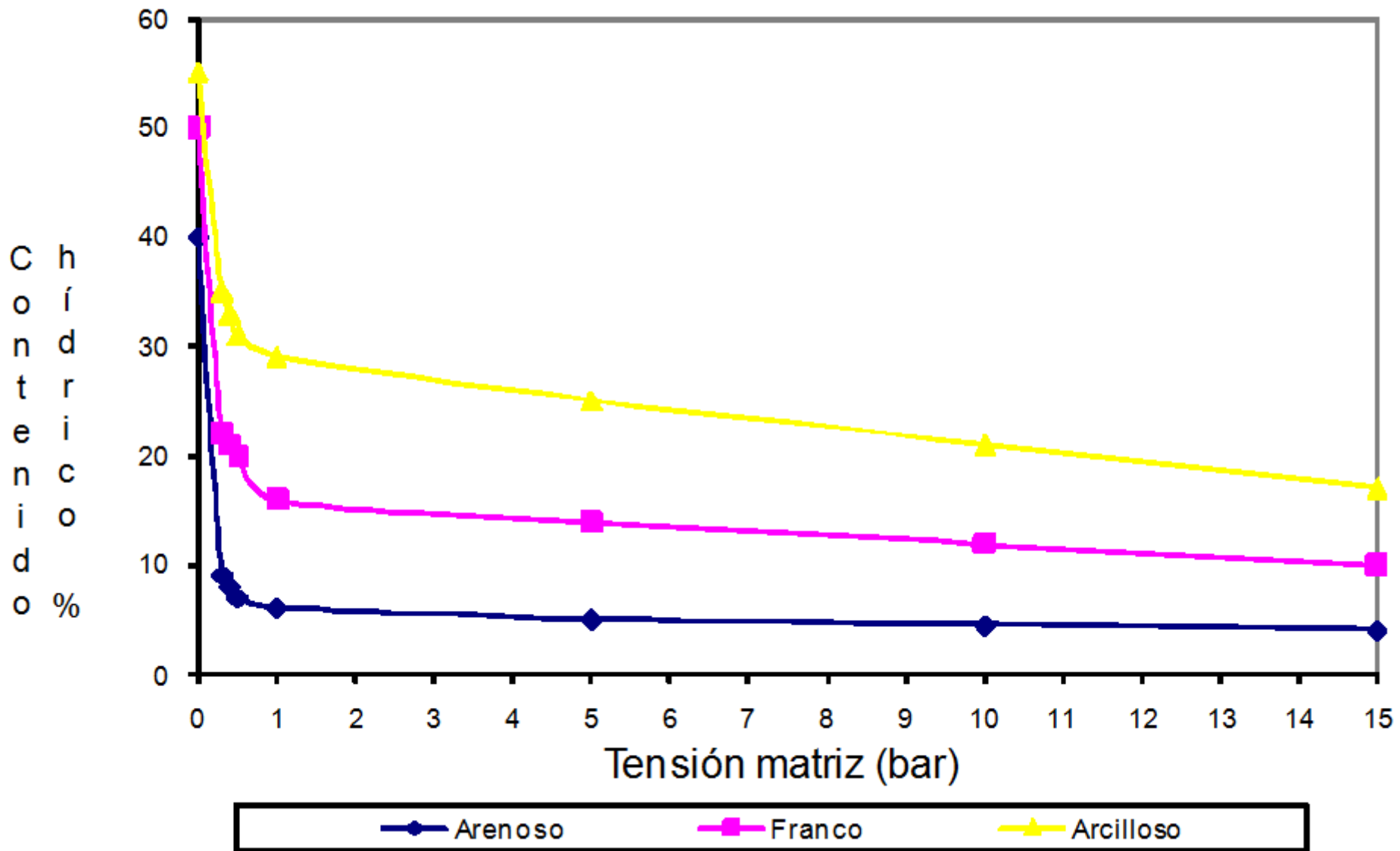
- $\Psi = \Psi_g + \Psi_m + \Psi_o + \Psi_p$
 - ψ = potencial hídrico total.
 - ψ_g = potencial gravitacional. Valor + - o 0 según plano de referencia.
 - ψ_m = potencial capilar, matriz o mátrico (fuerzas de adhesión, cohesión y adsorción iónica): de 0 (saturación) a -15 (pmp) bares
 - ψ_o = potencial osmótico: de 0 a negativos.
 - ψ_p = potencial de presión: la variación de presión externa respecto del nivel de referencia.
 - Unidades y equivalencias **1 atm** = 1,013 bares = 101,3 julios/kg = 1013000 ergios/g = **1013000** dinas/cm² = 1.033 cm = **10,33 mca** = 100 cbar = 1 kiloPascal (kPa) = 760 mm de Hg



Subsistema agua-suelo

- Contenidos hídricos referenciales.
 - Contenido hídrico a saturación W_s
 - No es tenida en cuenta para riego
 - Ψ total es función de la Ψ_o (sales) ya que $\Psi_m = 0$
 - Contenido hídrico a capacidad de campo W_c
 - $\Psi_m = -0,3 \text{ atm}$ (-0,1 a -0,5)
 - Ψ total a $W_c = \Psi_m + \Psi_o$
 - Contenido hídrico a marchitez permanente W_m
 - $\Psi_m = -15 \text{ bar}$
 - Ψ total a $W_m = \Psi_m + \Psi_o$.

Curvas de retención hídrica




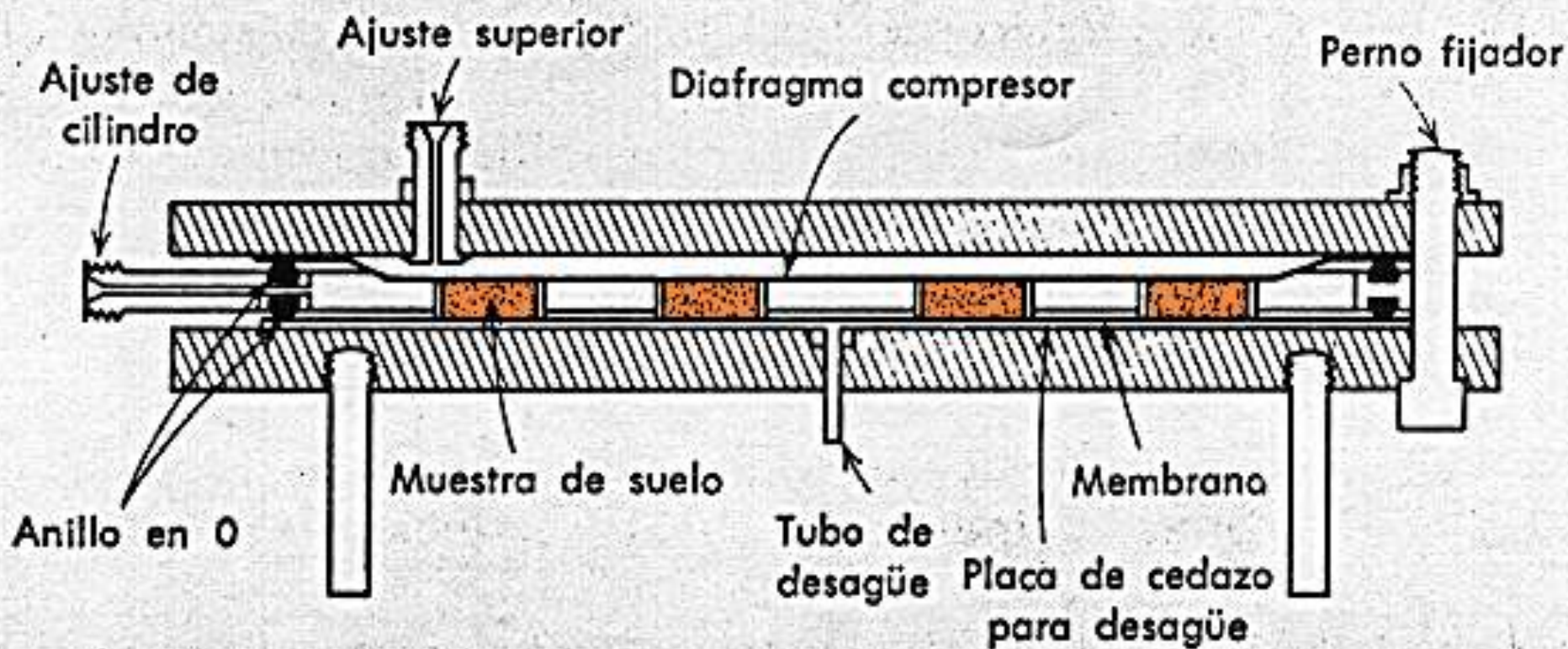
Contenidos hídricos referenciales

- $W_s - W_{cc} =$ agua en exceso (drenaje)
- $W_{cc} - W_m =$ agua útil=Hum. Aprovech Tot.= HAT
- $W_{cc} - W_{ur} =$ agua fácilmente aprovechable. Hum aprovechable consumo=HAC (W_{ur} =contenido hídrico umbral)
- $W_{ur} - W_m =$ Hum. Aprovechable Residual= HAR
- Umbral de riego U_r (%) o crítico U_c : es un criterio de manejo del riego, con bases fisiológicas y económicas relacionado con la sensibilidad de los vegetales al déficit hídrico.

Contenidos hídricos referenciales, densidad aparente y capacidad de almacenaje

TEXTURA	Ws	Wc	Wm	Δ_{ap}	HAT	HAT
	% en peso	% en peso	% en peso	g/cm ³	% en peso	% volum
Arenoso	38 (32-42)	9 (6-12)	4 (2-6)	1,6 (1,5-1,7)	5	8
Francoarenoso	43 (40-47)	14 (10-18)	6 (4-8)	1,5 (1,4-1,6)	8	12
Franco	47 (43-49)	22 (18-26)	10 (8-12)	1,4 (1,35-1,5)	12	17
Francoarcilloso	49 (47-51)	27 (23-31)	13 (11-15)	1,35 (1,3-1,4)	14	19
Arcilloarenoso	51 (49-53)	31 (27-35)	15 (13-17)	1,3 (1,2-1,4)	16	21
Arcilloso	54 (51-56)	36 (31-40)	17 (15-19)	1,2 (1,1-1,3)	19	23





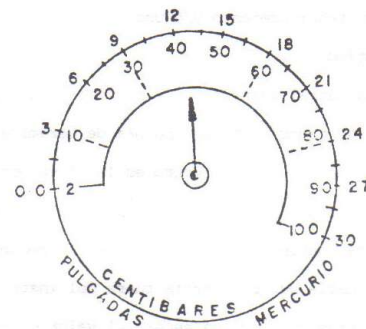
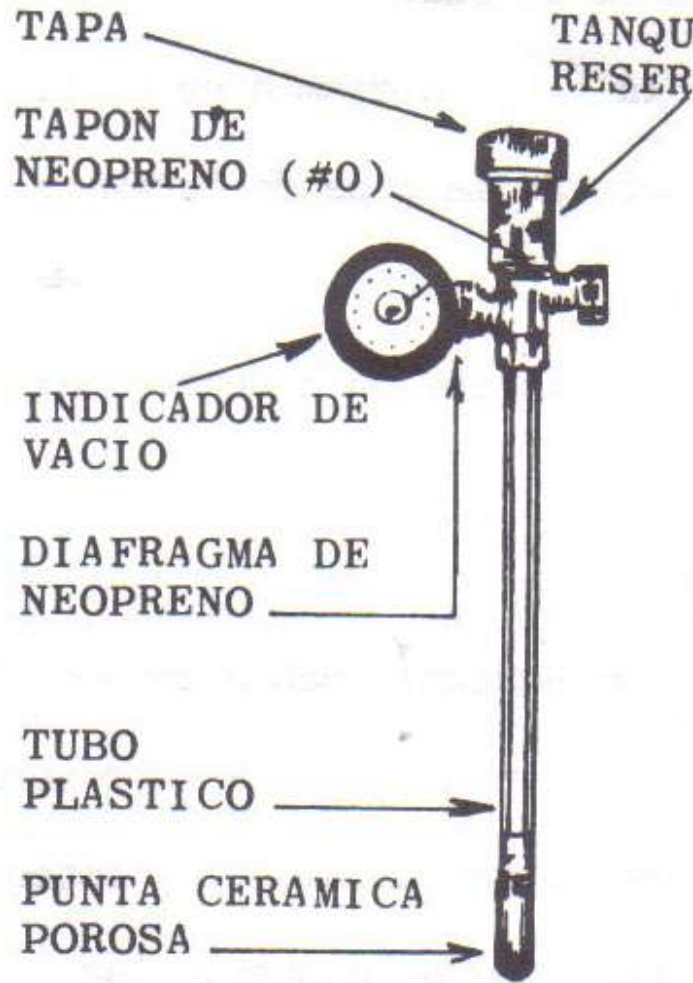
Prensa de presión de Richards





Métodos de medición y estimación

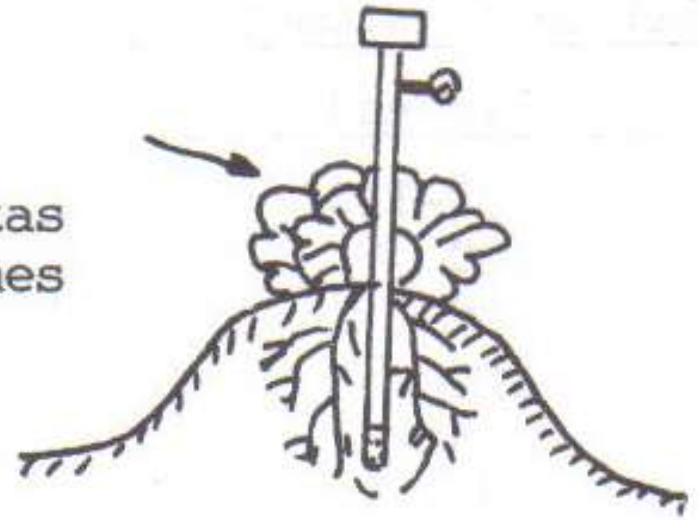
- Potencial matriz. (ψ_m)
 - Método de Richards (membrana y olla de presión)
 - Método tensiométrico



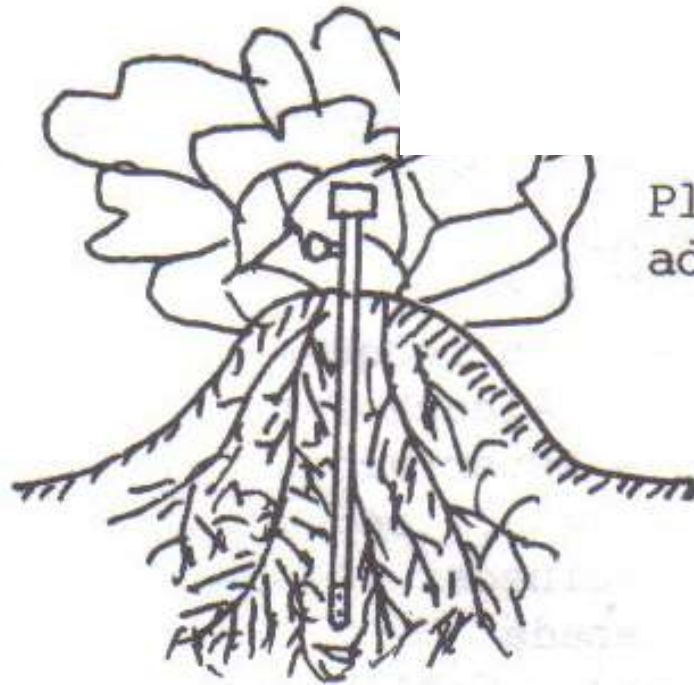
cb	Interpretación para regar
0 a 10	Cerca de saturación
10 a 30	Mojado
30 a 60	Intervalo de riego
60 a 80	Seco
80 a 100	Límite



Plantas
Jóvenes



Plantas
adultas



Métodos de medición y estimación

- Potencial matriz. (ψ_m)
 - Método de Richards (membrana y olla de presión)
 - Método tensiométrico
 - Resistenciómetros o conductivímetros con sensores (bloques de yeso)

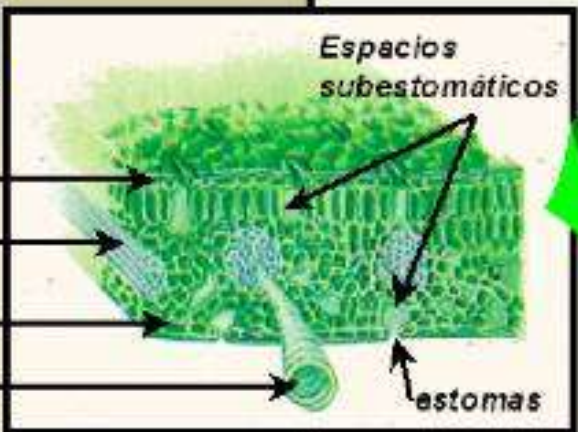


Métodos de medición y estimación

- Potencial matriz. (ψ_m)
 - Método de Richards (membrana y olla de presión)
 - Método tensiométrico
 - Resistenciómetros o conductivímetros con sensores (bloques de yeso)
- Potencial osmótico. (ψ_o)
 - Midiendo la CE en extracto de saturación
 - ψ_o (bar) = $0,36 * CE$
 - CE = conductibilidad eléctrica ($dS \cdot m^{-1}$, a 25 °C)

Hoja

Epidermis superior
 Nervio
 Parénquima lagunar
 Elemento conductor

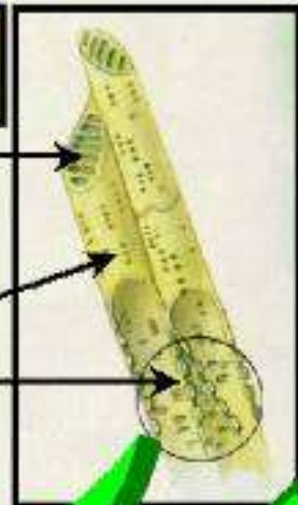


Transpiración



Elementos conductores

Perforación que separa dos elementos del mismo vaso
 Vaso
 Punteadura



Agua + sales minerales



Localización ψ (MPa)

Aire -95.1

Hojas -0.8

Xilema tallo -0.8

Xilema raiz -0.6

Suelo (raiz) -0.5

Suelo -0.3

Umbral óptimo de riego o umbral crítico

- U_r = Es el nivel más bajo de contenido hídrico, antes de regar, que aún permite satisfacer la E_{tm}
- Puede expresarse como:
 - Porcentaje de la humedad disponible total, $(W_c - W_m)$ Rango de 0 a 100%
 - Fracción del agua útil. Rango de 0 a 1

Capacidad máxima de almacenamiento de humedad aprovechable de un suelo

- $dt = \sum^n \delta ap_n \cdot D_n \cdot (Wc_n - Wm_n) / 100$
 - dt = lámina total de agua disponible (m, cm o mm)
 - Wc_n = %W a capacidad de campo del horizonte, capa o estrato n del suelo.
 - Wm_n = % W a la marchitez permanente del horizonte o estrato n del suelo.
 - δap_n = densidad aparente del horizonte o estrato n, en g/cm^3
 - D_n = espesor del horizonte o estrato n, en m, cm ó mm.

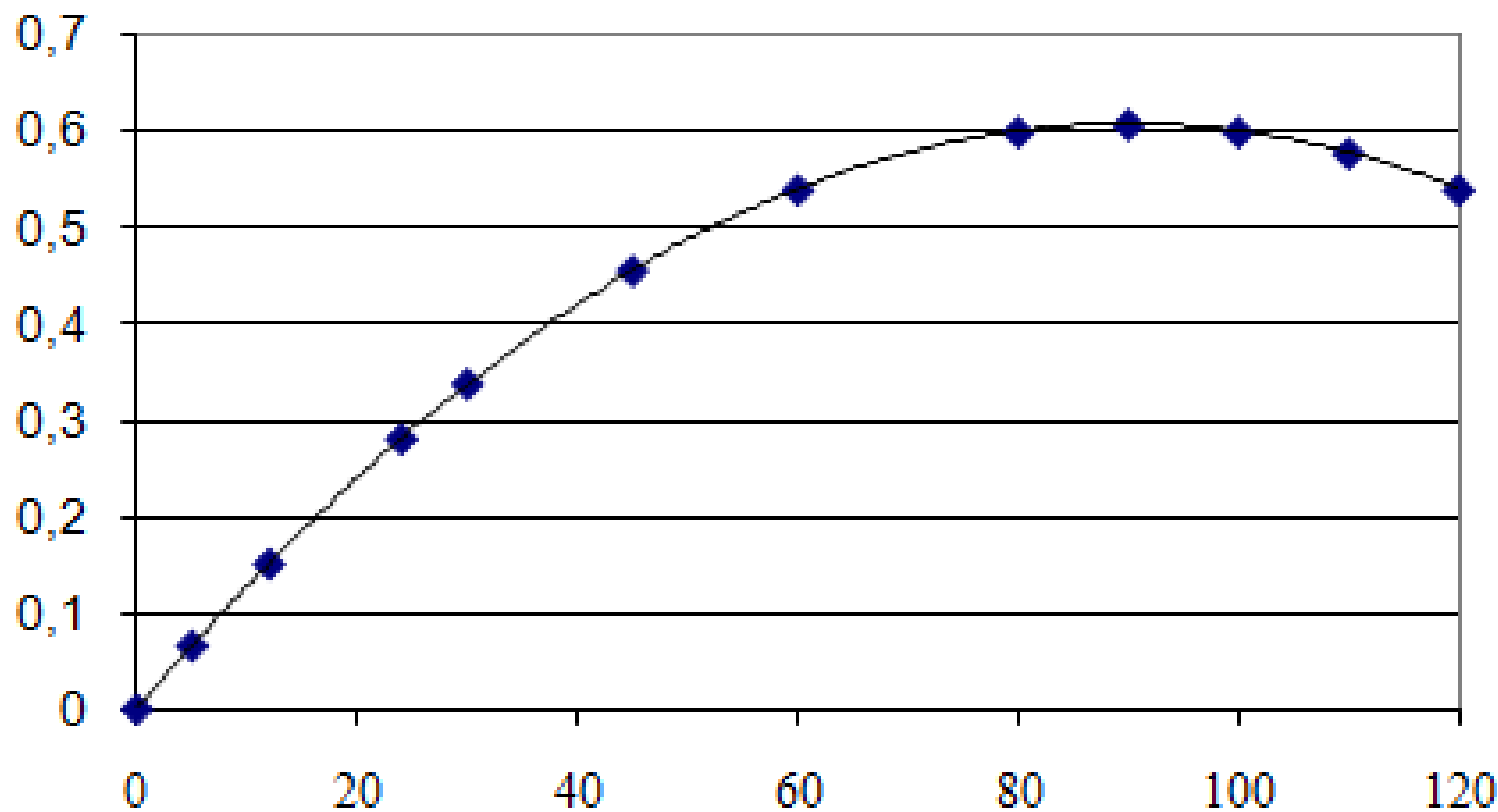
Capacidad de almacenaje de agua para distintas prof. de raíces cult. y suelos

Tipo de suelo	Prof. Raíces (m)	Walm (mm)
1. Espinacas, arvejas, remolachas, zanahorias, etc.		
Arenoso fino	0,50	50
Franco arenoso fino	0,50	75
Franco limoso	0,62	125
Franco arcilloso	0,40	100
Arcilloso	0,25	75

Profundidad efectiva de raíces

Cultivo	Prof. efectiva	Cultivo	Prof. efectiva	Cultivo	Prof. efectiva
	de raíces		de raíces		de raíces
	(cm)		(cm)		(cm)
Alfalfa	90-180	Cereales	60-150	Pastos	60-100
Poroto	50-90	Vid	75-180	Pimiento	40-100
Cítricos	120-150	Leguminosas	50-125	Papa	30-75
Algodón	30-60	Maíz dulce	75-160	Cártamo	90-180
Pepino	75-125	Olivo	100-150	Soja	60-125
Berenjena	75-120	Cebolla	30-75	Frutilla	20-30
Remolacha	60-125	Caña azúcar	75-180	Tomate	40-100
Tabaco	45-90	Verdura hoja	30-60		

Profundidad de raíces (m)



Duración del ciclo (días)

Cálculo de la lámina neta y bruta de reposición

- Lam neta: agua necesaria para reponer el consumo evapotranspirativo dejándolo a Wc
 - $In = \sum^i [(Wc_i - Wm_i) / 100] \delta_{ap i} \cdot Ur \cdot D_i$
- Lamina Bruta: agua necesaria a aplicar en función de las eficiencias de aplicación : surcos, 50 %, amelgas, 60 % aspersión 80 %, microaspersión, 85 %, goteo 85-90%.
 - **$Ib = dn / Efa$**
 - Ib = lámina bruta de reposición, en mm, cm o m.
 - In = lámina neta de reposición, en mm, cm o m.
 - Efa = eficiencia de aplicación, adimensional.

Cálculo del intervalo de riego

- **$I_r = I_n / E_{tc}$**
 - I_r = intervalo de riego, en días.
 - I_n = lámina neta, en mm.
 - E_{tc} = evapotranspiración del cultivo, en mm/día
- **$I_r = (I_n + P_e) / E_{tc}$ (zonas húmedas)**
 - P_e = precipitación efectiva, en mm.

Relaciones agua-suelo-planta-atmósfera

Temario

Contenidos hídricos referenciales

Potencial de agua

Curvas de capacidad hídrica

Sensibilidad al déficit hídrico

Umbral de riego

Cálculo de lámina e intervalo de riego