

Relaciones agua-suelo-planta-atmósfera

(RASPA)

Contenidos hídricos referenciales

Potencial de agua

Curvas de capacidad hídrica

Sensibilidad al déficit hídrico

Umbral de riego

Cálculo de lámina e intervalo de riego

- Porosidad

- $P (\%) = 100 (1 - \delta_{ap}/\delta_r)$

- δ_{ap} = densidad aparente, en g/cm^3

- δ_r = densidad real, en g/cm^3 . (2,5-2,7 g/cm^3)

- Agua del suelo

- Gravitacional: drena, el suelo no la sostiene (disp.)

- Capilar: sostenida por el suelo (disponible)

- Higroscópica: fuertemente retenida (no disponible)

Potenciales

- $\Psi = \Psi_g + \Psi_m + \Psi_o + \Psi_p$
 - ψ = potencial hídrico total.
 - ψ_g = potencial gravitacional. Su valor puede ser positivo, negativo o cero, según la localización del plano de comparación.
 - ψ_m = potencial capilar, matriz o mátrico, con valores que varían entre $\psi_m = 0$ en suelo saturado y negativos. Rango de 0 a -15 bares o atm.
 - ψ_o = potencial osmótico, sus valores varían entre cero y negativos.
 - ψ_p = potencial de presión, que considera la variación de presión externa respecto al nivel de referencia.

CONTENIDO HÍDRICO

Agua evaporada a 105-110 °C

- **Cont. 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.

- **Cont. 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.

- $\delta_a = P_{ss} / V_t$

- peso del suelo seco
 - volumen total que ocupa

- $W_v (\%) = W_p (\%) \cdot \delta_a = \text{cm de agua} / 100 \text{ cm de suelo} =$
 $\text{mm de agua} / 10 \text{ cm de suelo} = \text{mm de agua} / \text{dm de suelo}$

Pasaje de W_p (%) a W_v (%)

- Dados $\delta_a = 1,23 \text{ g/cm}^3$ y W_p (%) = 25,8 %, primero se opera la equivalencia 25,8 g de agua = 25,8 cm^3 de agua, debido a que la densidad del agua = 1 g/cm^3
- Luego se opera la equivalencia 100 g de suelo = 81,3 cm^3 de suelo. Hasta aquí se tiene la siguiente relación: 25,8 cm^3 de agua contenidos en 81,3 cm^3 de suelo.

$$\begin{array}{r} 25,8 \text{ cm}^3 \text{ de agua} \text{-----} 81,3 \text{ cm}^3 \text{ de suelo} \\ x \text{ cm}^3 \text{ de agua} \text{-----} 100 \text{ cm}^3 \text{ de suelo} \end{array}$$

- quedando 31,73 cm^3 de agua en 100 cm^3 de suelo, o sea **W_v** (%) = 31,73 = 31,73 mm/dm.
- También $W_v = W_p * \delta_a = 25,8 * 1,23 = 31,73\% = 31,73 \text{ mm/d}$

CONTENIDOS HÍDRICOS REFERENCIALES

– Contenido hídrico a saturación W_s

- No es tenida en cuenta para riego, porque es un estadio que ocurre durante breve lapso de tiempo.
- $\Psi_m = 0$ y el Ψ total es función de la Ψ_o (sales)

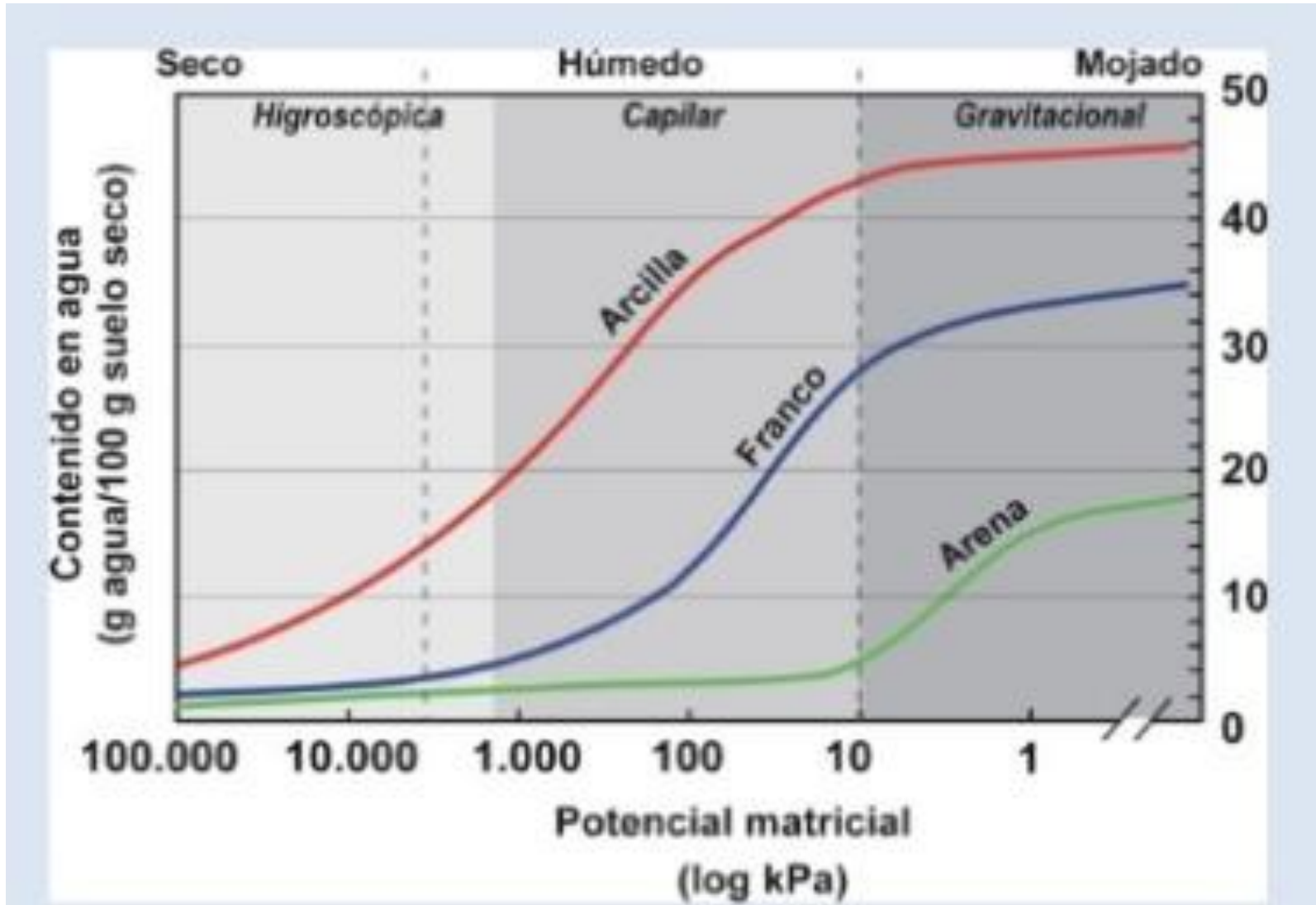
– Contenido hídrico a capacidad de campo W_c

- $\Psi_m = -0,3 \text{ atm}$ (-0,1 a -0,5)
- Ψ total a W_c es función de $\Psi_m + \Psi_o$

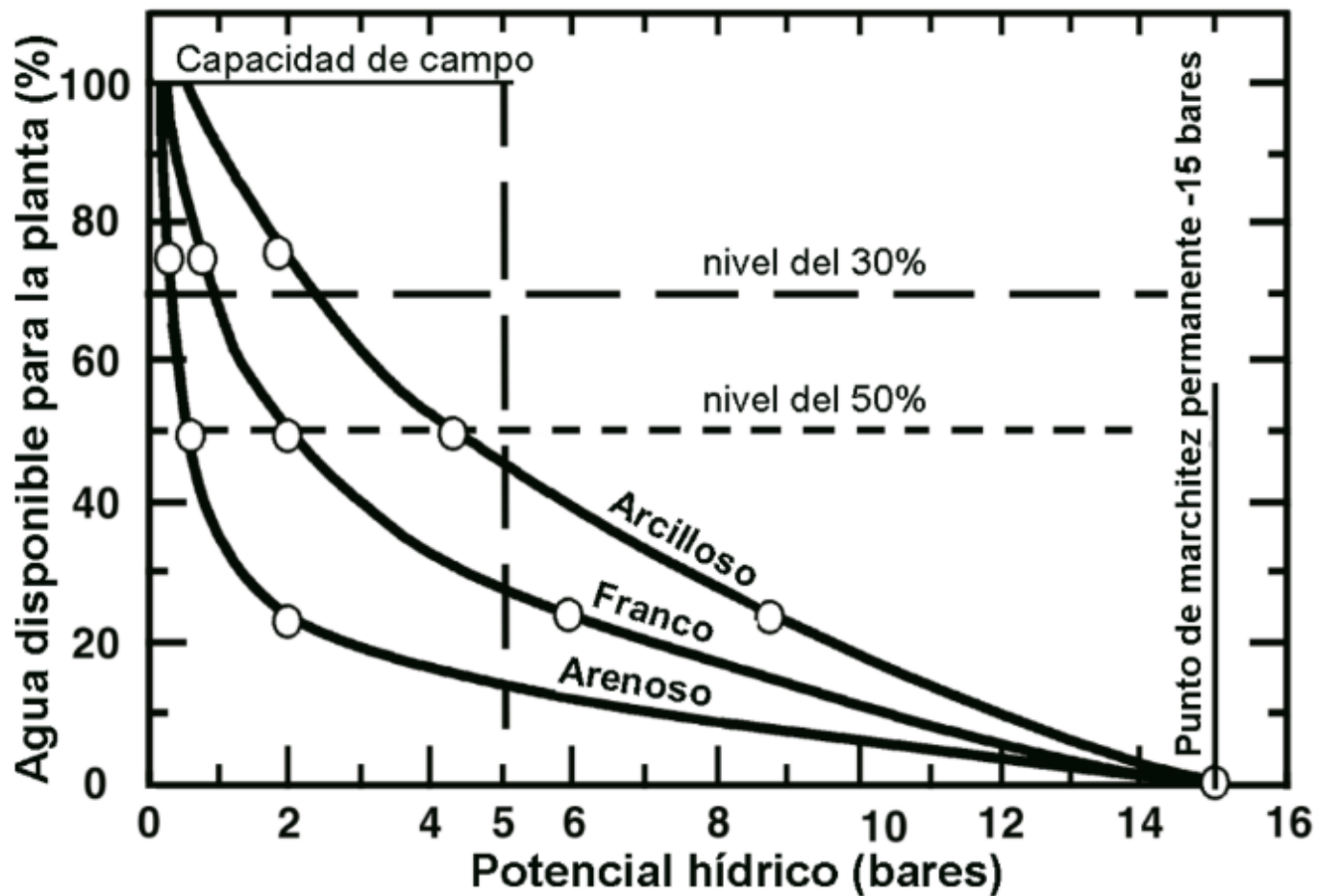
– Contenido hídrico a marchitez permanente W_{pmp}

- $\Psi_m = -15 \text{ atm}$
- Ψ total a W_m es función de $\Psi_m + \Psi_o$.

Curvas de retención hídrica



Curvas de retención hídrica



- **$W_s - W_c$** = agua en exceso (drenaje)
- **$W_c - W_m$** = agua útil= HAT = Humedad aprovechable total
- **$W_c - W_{ur}$** = agua fácilmente aprovechable. HAC
 Humedad aprovechable que se deja consumir
 W_{ur} = contenido hídrico umbral crítico o de riego
- **$W_{ur} - W_m$** = HAR= Humedad aprovechable residual
- **El 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. Su rango es entre 0 y 1

Métodos de medición y estimación

- Densidad aparente (δ_{ap}).

- Métodos de campo.

Método de la barrena o cilindro de volumen conocido. Se clava el cilindro densitométrico en cada horizonte del suelo, se lleva el suelo a secar a estufa hasta peso de suelo seco P_{ss} y $P_{ss}/Vol.$ del cilindro = d_{ap} (g/cm^3).

Método del pozo y bolsa plástica. Se cava con pala o barrena un pozo en cada horizonte, se lleva el suelo a secar a estufa hasta P_{ss} . En el pozo se coloca una bolsa plástica y llena de agua hasta enrasar. Se mide el volumen y $d_{ap} = P_{ss}/vol.$

Métodos de medición y estimación

Medición del contenido hídrico (%W) Es el método patrón.

Método gravimétrico, considerado el método patrón.

$$100(P_{sh} - P_{ss})/P_{ss} = \% W_p$$

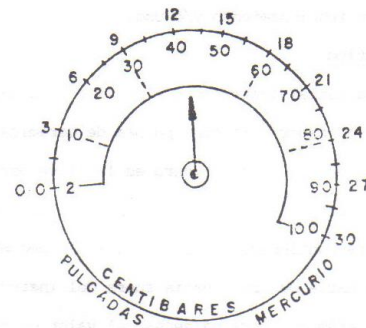
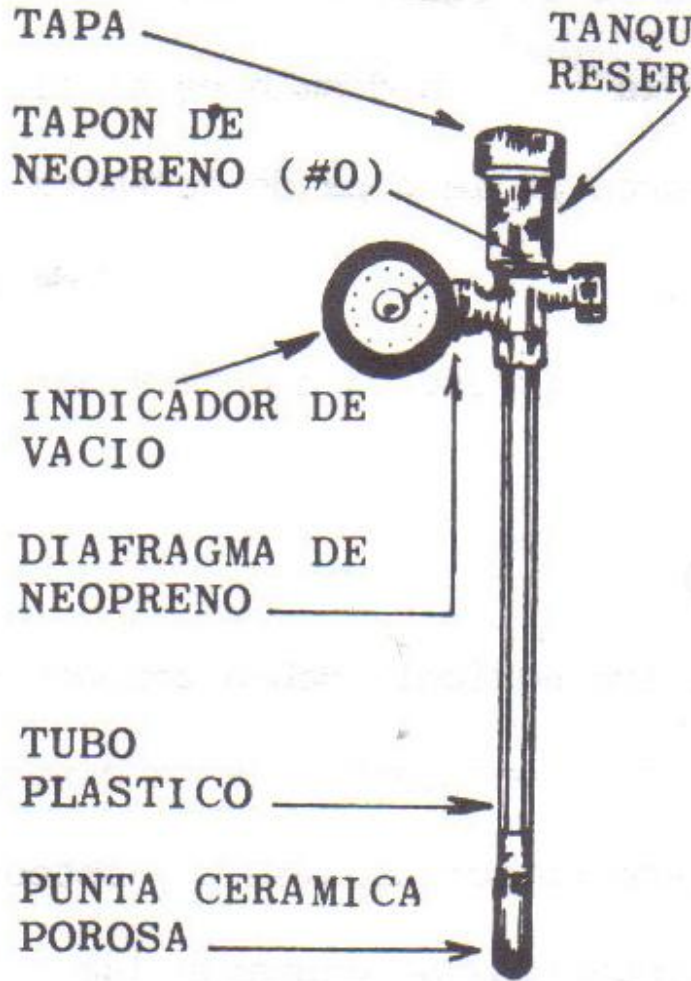
Estimaciones de contenido hídrico, humedad del suelo o potencial

- . Sensores de humedad volumétrica
- . Psicrómetro de termocupla
- . Sonda de neutrones
- . Olla de presión y membranas de tensión (Equipo de Richards)
- . Sensores de potencial
- . Sensores TDR
- . Tensiómetros de cápsula porosa.

Equipo de Richards



Tensiómetro de capsula porosa



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

Bloques de resistencia y medidor Watermark

Cambiar foto



Medidor y sensor Pro Check



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 evapotranspiración máxima del cultivo E_{tm}
- Puede expresarse como:
 - un porcentaje de la humedad aprovechable total, $(W_c - W_m)$, con un rango de 0 a 100%
 - fracción del agua útil, con un rango de 0 a 1. $U_r=0$ si es suelo a regar está en W_c y $U_r=1$ si el suelo está en W_m .

Depende de la sensibilidad al déficit hídrico del cultivo y la etapa fenológica. Para etapa vegetativa $U_r=0,6-0,8$, para etapa reproductiva $U_r= 0,3-0,4$, para madurez $U_r=0,5-0,6$

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, en la dimensión de D_n (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 profundidades de raíces y texturas

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

Cálculo de la lámina neta y bruta de reposición

- Lámina neta (d_n): agua para reponer el consumo evapotranspirativo dejando el suelo a W_c

$$\text{Lám neta total } d_n = \sum^i [(W_{c_i} - W_{m_i}) / 100] \delta_{ap_i} \cdot U_r \cdot D_i$$

$$\text{Lám bruta}(d_b) = d_n / E_{fa}$$

d_n = lámina neta de reposición, mm.

d_b = lámina bruta, mm

W_c = capacidad de campo, % en peso

W_m = marchitez permanente, % en peso

d_{ap} = densidad aparente, g/cm³

U_r = umbral crítico o de riego, adimensional

D = profundidad efectiva de raíces, en dm.

E_{fa} = eficiencia de aplicación, en surcos 30-75 %, en melgas, 30-70 %, en aspersión 75-85 %, en microaspersión, 85 %, en goteo superficial 85-90% y en goteo subterráneo 90-95%.

Cálculo del intervalo de riego

$$Ir = dn / Etc$$

- Ir = intervalo de riego, en días.
- dn= lámina neta, en mm.
- Etc= evapotranspiración del cultivo, en mm/día

$$Ir = (dn + Pe) / Etc \text{ (zonas húmedas)}$$

- Pe = precipitación efectiva, en mm.

Calcular la Lamina Bruta (LB) y el intervalo de riego (Ir)

- Profundidad de raíces = 80 cm
- UC = 70%
- Eficiencia de riego = 80%
- Eto = 4 mm/día
- Kc = 0,5

PERFIL EDAFICO				
ESTRATO	PROFUNDIDAD cm	Wc %v/v	Wm %p/p	Dens. Aparente Gr/cm ³
A1	0-30	30	10	1,35
B1	30-50	36	13	1,40
B2	50-130	39	15	1,30

ESTRATO	Espes dm	Wc %v/v	Wc %p/p	Wm %v/v	Wm %p/p	Dens. Aparente Gr/cm ³
A1	3	30	22,22	13,5	10	1,35
B1	2	36	25,7	18,2	13	1,40
B2	8	39	30	19,5	15	1,30

$$Ln_{A1} = (30 - 13,5) * 0,7 * 3 = 34,65\text{mm}$$

$$Ln_{B1} = (36 - 18,2) * 0,7 * 2 = 24,92\text{mm}$$

$$Ln_{B2} = (39 - 19,5) * 0,7 * 3 = 40,95\text{mm}$$

$$Ln_T = \mathbf{100,52\text{mm}}$$

$$Lb_T = 100,52\text{mm} / 0,8 = \mathbf{125,65\text{ mm}}$$

$$Et_c = Et_o * Kc = 4\text{mm/día} * 0,5 = \mathbf{2\text{mm/día}}$$

$$Ir = Ln_T / Et_c = 100,52\text{ mm} / 2\text{ mm/día} = \mathbf{50\text{ días}}$$