



# Tema 1

## **POTENCIAL DEL AGUA EN EL SUELO**

# 1. Introducción

## CONTENIDO DE AGUA EN EL SUELO

A. Porcentaje de peso seco ( $\theta_g$ )

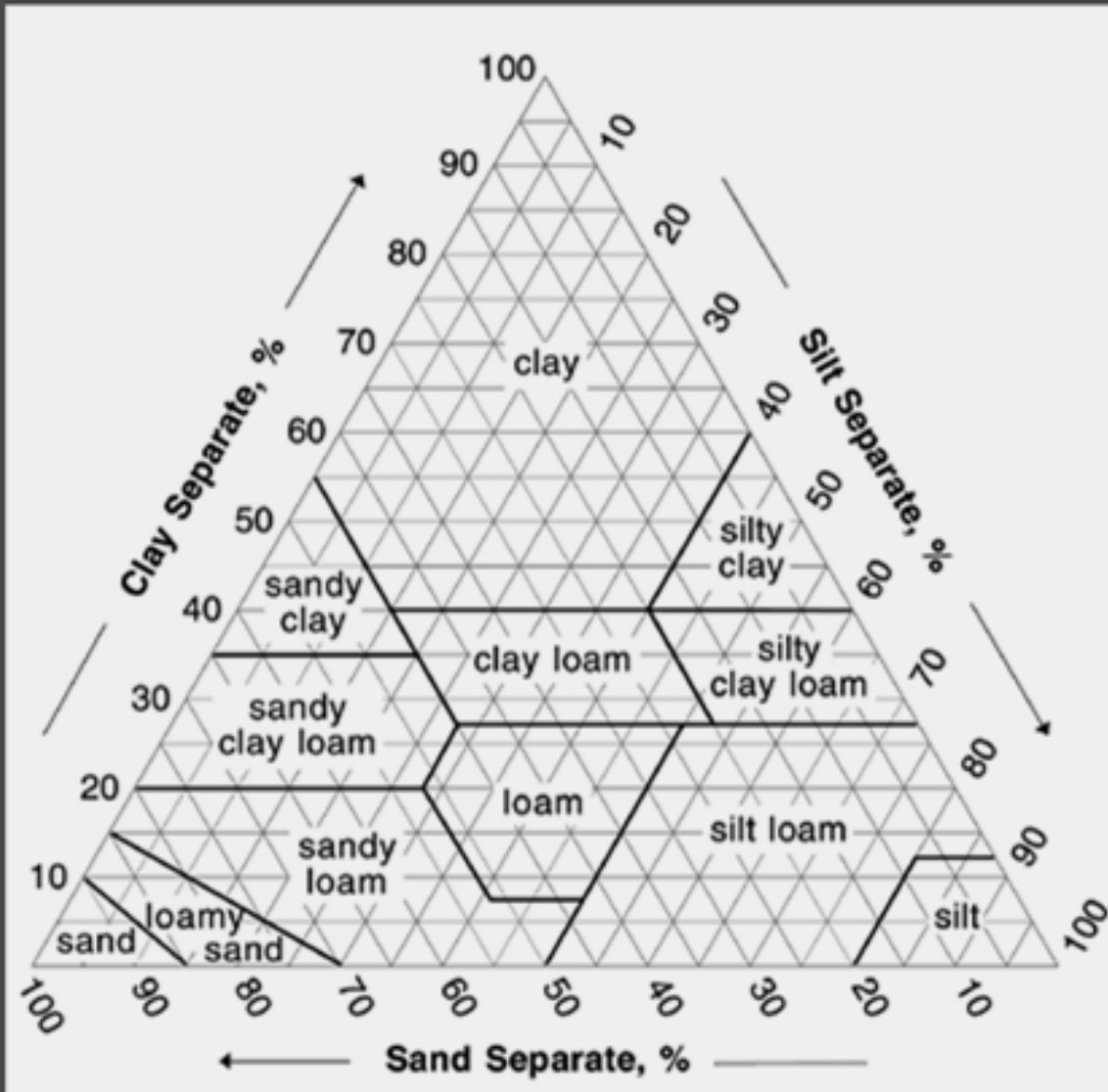
B. Porcentaje de volumen aparente ( $\theta_v$ )

$\theta_v$  → Forma más intuitiva y reveladora de la disponibilidad de agua para las plantas.

Sin embargo, un contenido de humedad en porcentaje ofrece poca información sobre la cantidad de agua útil del suelo para el cultivo.

Un mismo contenido de humedad ( $\theta_v$ ) puede corresponder a condiciones de saturación en un suelo y al punto de marchitez en otro.

# American Texture Triangle



Percent Sand

Percent Clay

Percent Silt

Texture (US System)

Wilting point  
*cm<sup>3</sup> water/cm<sup>3</sup> soil*

Field capacity  
*cm<sup>3</sup> water/cm<sup>3</sup> soil*

Bulk density  
*g/cm<sup>3</sup>*

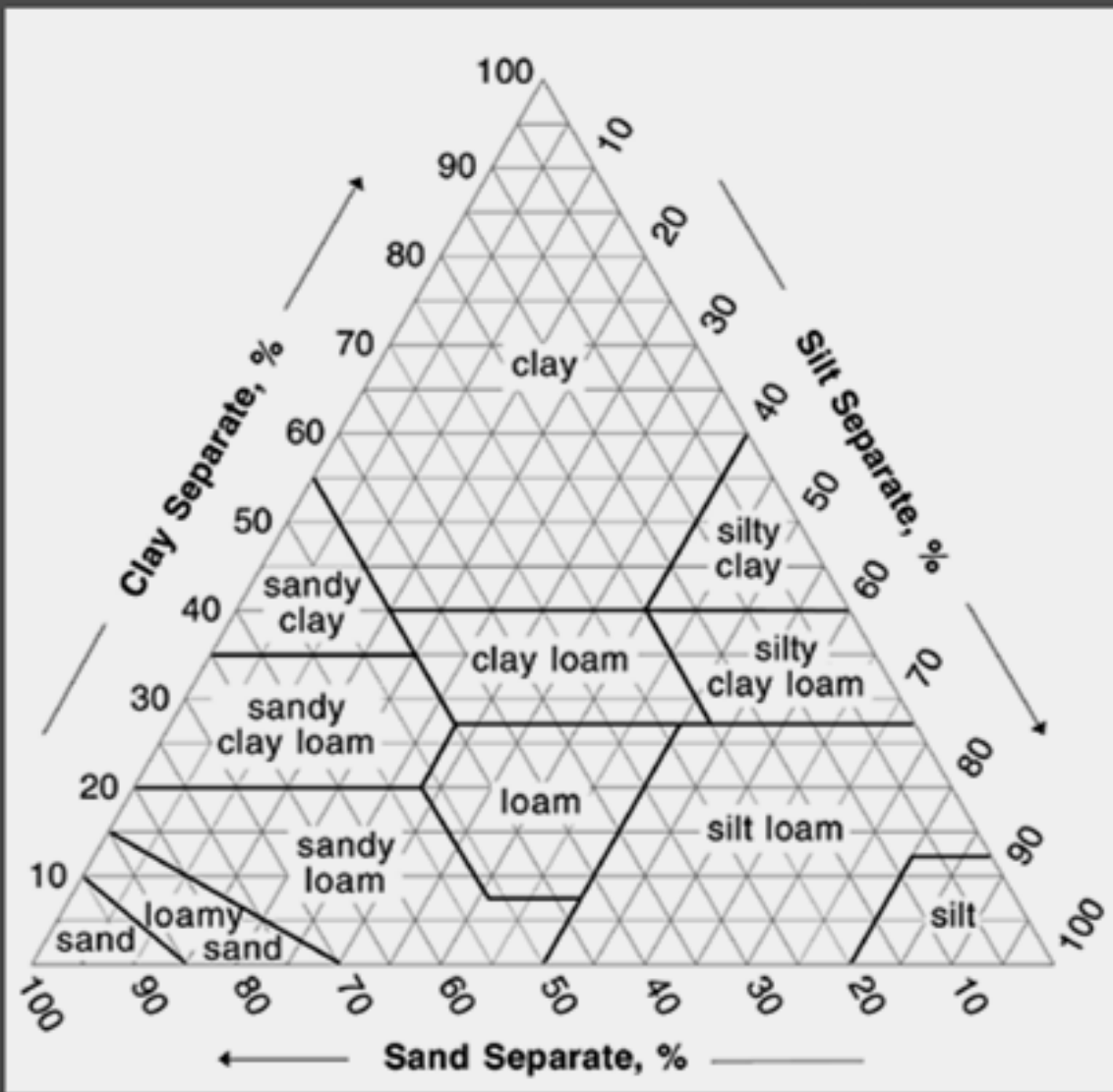
Saturation  
*cm<sup>3</sup> water/cm<sup>3</sup> soil*

Sat. hydraulic conduct.  
*cm/hr*

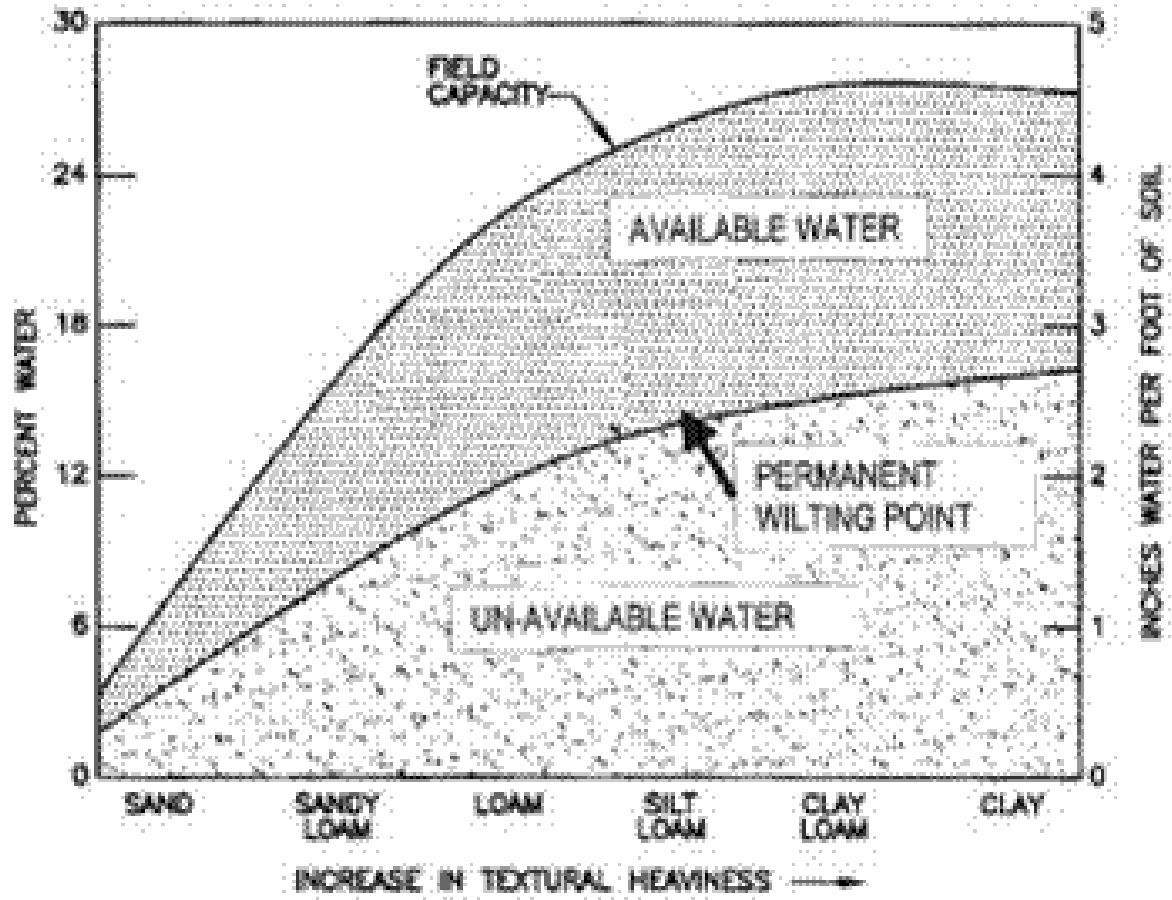
Available water  
*cm<sup>3</sup> water/cm<sup>3</sup> soil*

*water/foot soil*

# American Texture Triangle



Percent Sand	22.06
Percent Clay	55.62
Percent Silt	22.32
Texture (US System)	Clay
Wilting point <i>cm<sup>3</sup> water/cm<sup>3</sup> soil</i>	0.32
Field capacity <i>cm<sup>3</sup> water/cm<sup>3</sup> soil</i>	0.45
Bulk density <i>g/cm<sup>3</sup></i>	1.22
Saturation <i>cm<sup>3</sup> water/cm<sup>3</sup> soil</i>	0.54
Sat. hydraulic conduct. <i>cm/hr</i>	0.18
Available water <i>cm<sup>3</sup> water/cm<sup>3</sup> soil</i>	0.13
	1.6



Textura del suelo

Gruesa

Fina

# 1. Introducción

## CONTENIDO DE AGUA EN EL SUELO

A. Porcentaje de peso seco ( $\theta_g$ )

B. Porcentaje de volumen aparente ( $\theta_v$ )

$\theta_v$  → Forma más intuitiva y reveladora de la disponibilidad de agua para las plantas.

Sin embargo, un contenido de humedad en porcentaje ofrece poca información sobre la cantidad de agua útil del suelo para el cultivo.

Un mismo contenido de humedad puede corresponder a condiciones de saturación en un suelo y al punto de marchitez en otro.

Por tanto, desde el punto de vista de la producción agrícola resulta más interesante conocer la energía con la que el agua es retenida en el suelo.

# **2. Concepto de potencial de agua**

**Potencial del agua → estado energético de la misma**

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

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

**Excepto en suelos muy húmedos o salinos, las más importantes son**

# **2. Concepto de potencial de agua**

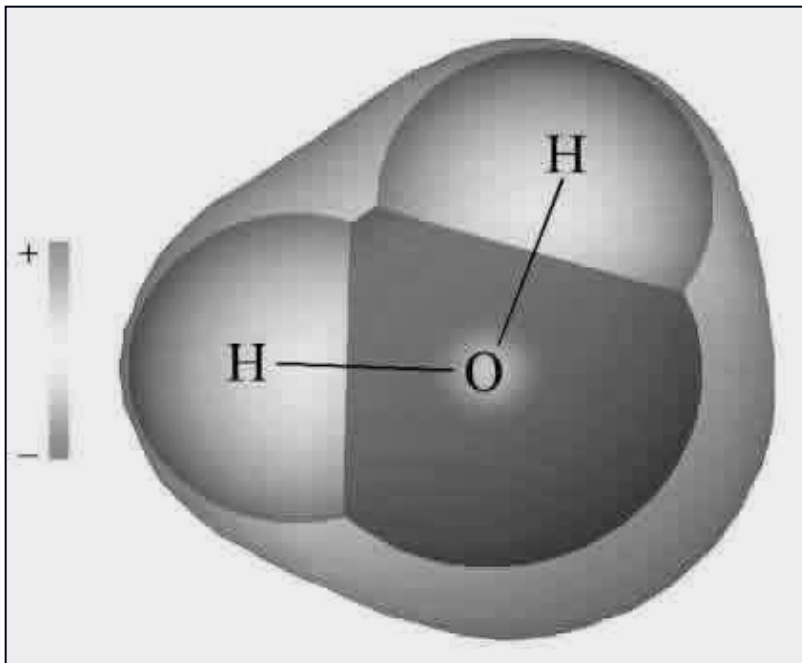
**Potencial del agua → estado energético de la misma**

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

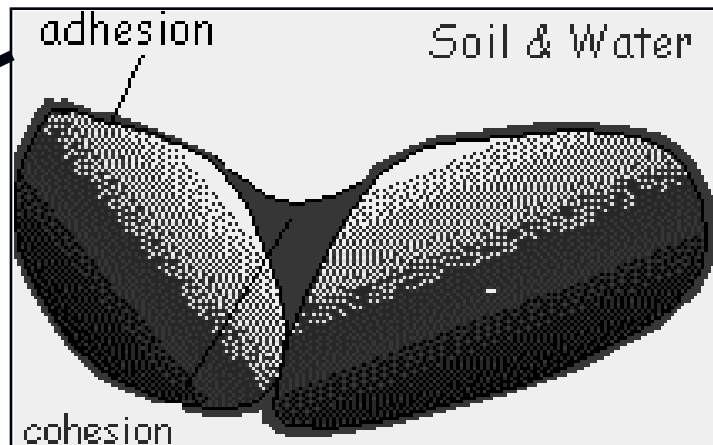
- a. Las derivadas de la interacción del agua con las partículas sólidas.**
- b. Las resultantes de la interacción agua-moléculas en solución.**
- c. Las fuerzas del campo gravitatorio.**

**Excepto en suelos muy húmedos o salinos, las más importantes son**





Molécula de agua → dipolo  
(distribución asimétrica de los  
electrones)



Agua no disponible  
para las plantas

# 2. Concepto de potencial de agua

## DEFINICIÓN DE POTENCIAL DEL AGUA

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

El potencial total del agua se puede expresar como la suma de varios componentes:

$$\Psi_t = \Psi_g + \Psi_p + \Psi_o$$

Donde:  $\Psi_g$  = potencial gravitatorio

$\Psi_p$  = potencial de presión

$\Psi_o$  = potencial osmótico

# 3. Unidades de potencial de agua

□ Según la definición de potencial:

Unidades = energía/masa → Julios/kg (SI)

□ Sin embargo, dado que  $\delta_{\text{H}_2\text{O}} = 1$ , es más corriente emplear las unidades de energía/volumen → Julios/m<sup>3</sup> (SI)

Esta última forma es conceptualmente más cómoda de emplear, ya que Julios/m<sup>3</sup> equivale a unidades de presión:

1 Julio = 1 Newton \* m → 1 Julio/m<sup>3</sup> = 1 Newton/m<sup>2</sup> = 1 Pascal

□ Otras veces se emplean unidades de energía/peso, que equivale a una longitud (altura de columna de agua):

1 Julio/Newton = 1 Newton\*m/Newton = 1 m.c.a.

En estas unidades: 1 bar ≈ 10 m.c.a. ≈ 75 cm Hg

## 4. Componentes del potencial total del agua

### □ Potencial gravitatorio

Es el derivado de la fuerza que la gravedad ejerce sobre el agua.

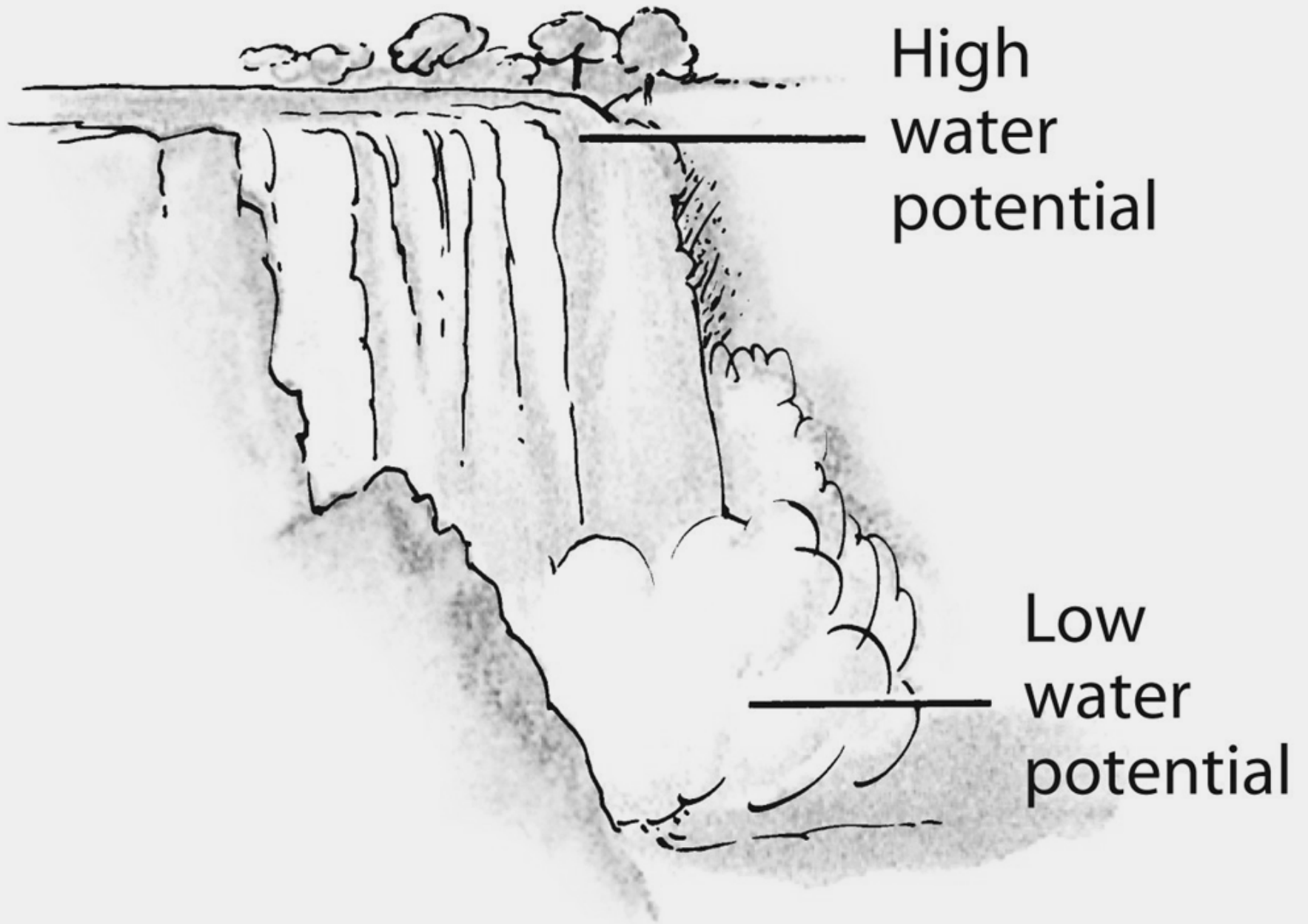
Por tanto → la altura a la que se encuentra el agua afecta a su estado energético.

La energía potencial gravitatoria de una masa  $m$  a una altura  $h$ , sobre el nivel de referencia, es:

$$E = -m g h = -\rho V g h$$

$V$ = volumen

$g$ = aceleración de la gravedad



(a)

## **4. Componentes del potencial total del agua**

### **□ Potencial gravitatorio**

**Por tanto, el potencial gravitatorio será:**

$$\Psi_g = E/m = -gh \text{ (si se expresa como energía/masa)}$$

$$\Psi_g = E/V = -\rho gh = -\gamma h \text{ (si se expresa como energía/volumen)}$$

$$\Psi_g = E/mg = -h \text{ (si se expresa como energía/peso)}$$

## 4. Componentes del potencial total del agua

### □ Potencial de presión

#### ✓ Suelo no saturado:

Es el caso más frecuente, y el potencial de presión es debido a las fuerzas de adhesión de las moléculas de agua a las partículas sólidas del suelo y a las fuerzas de cohesión entre las moléculas de agua.

En este caso, el agua está bajo tensión → presión negativa  
(Potencial mátrico)



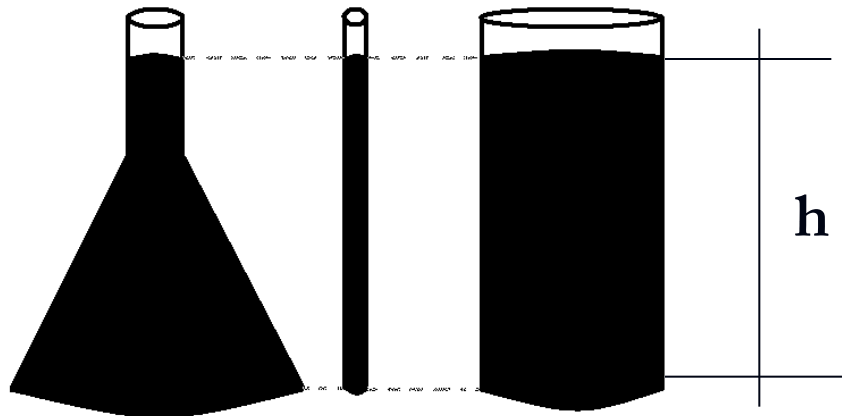
## 4. Componentes del potencial total del agua

### □ Potencial de presión

#### ✓ Suelo saturado:

El agua en cada punto tiene una presión (positiva) que depende de la columna de agua que soporta.

**UNIDADES:** en ambos casos, lo más común es expresarlo con unidades de (i) presión o (ii) altura de columna de agua.



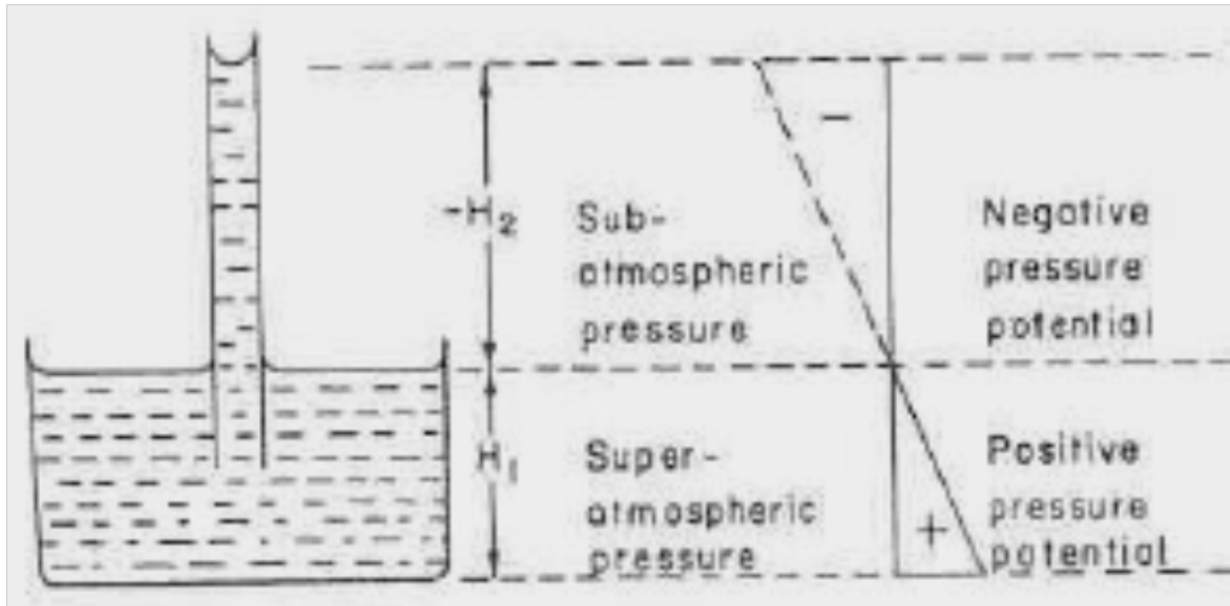
$$P = \gamma h$$

$$h = P/\gamma$$



# 4. Componentes del potencial total del agua

## □ Potencial de presión



$$\Psi_p < 0$$

$$\Psi_p > 0$$

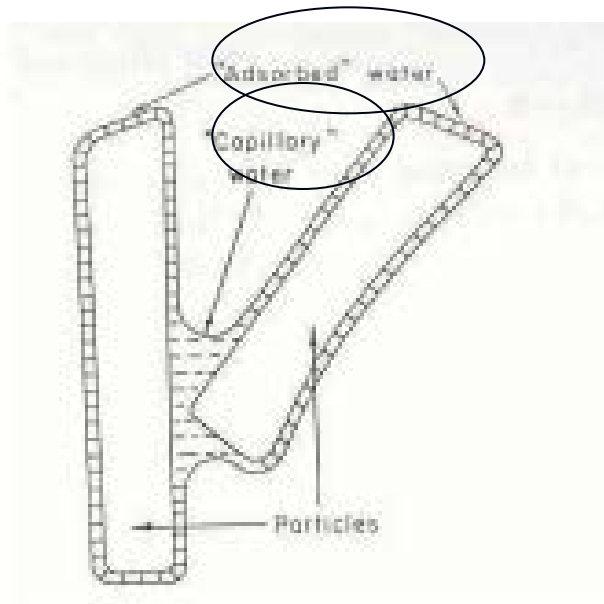
Simulación de la presión existente en un suelo por encima y por debajo del nivel freático

## 4. Componentes del potencial total del agua

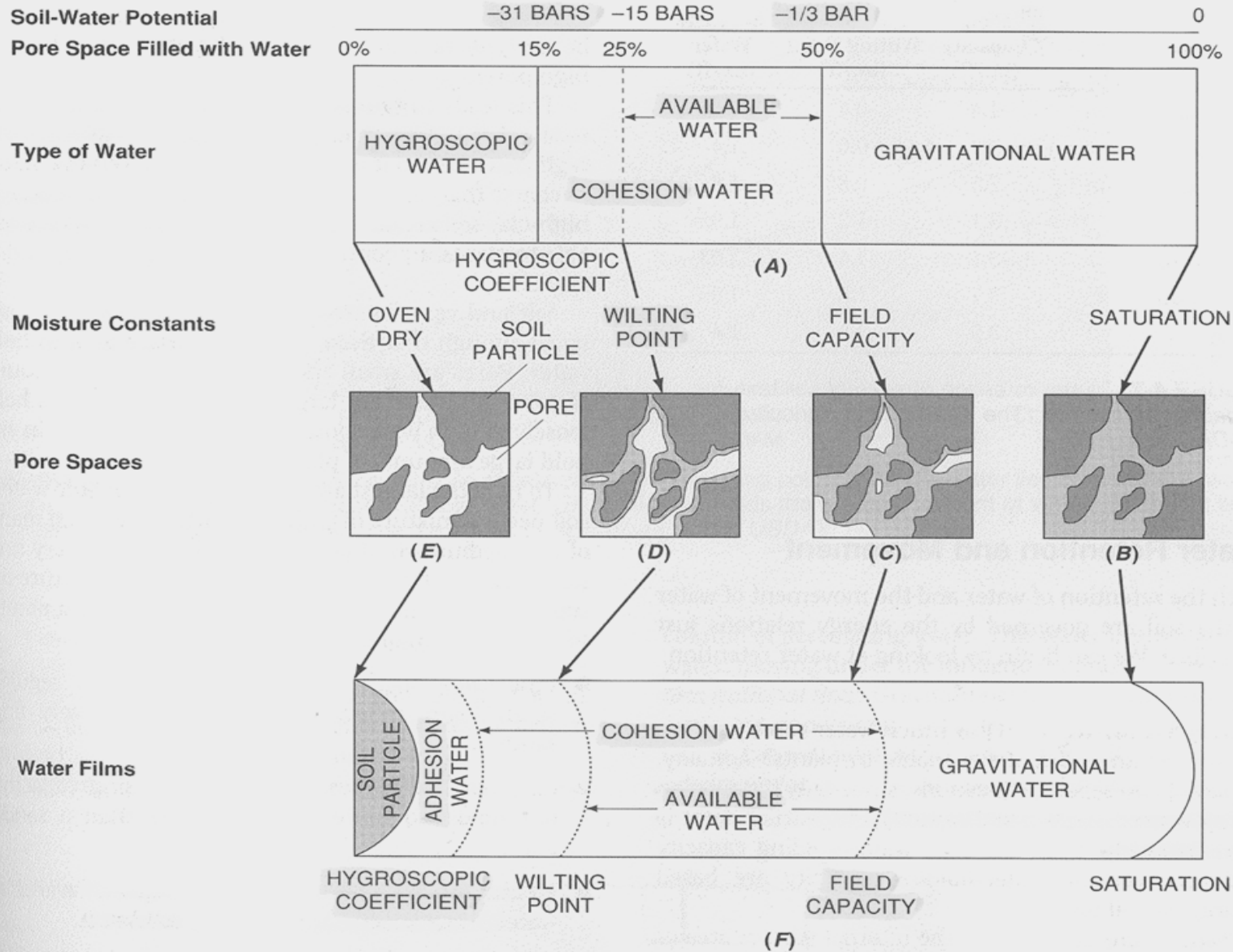
- Tensión mátrica o potencial mátrico (suelos no saturados)

### A. Capilaridad

### B. Adsorción del agua a las partículas sólidas

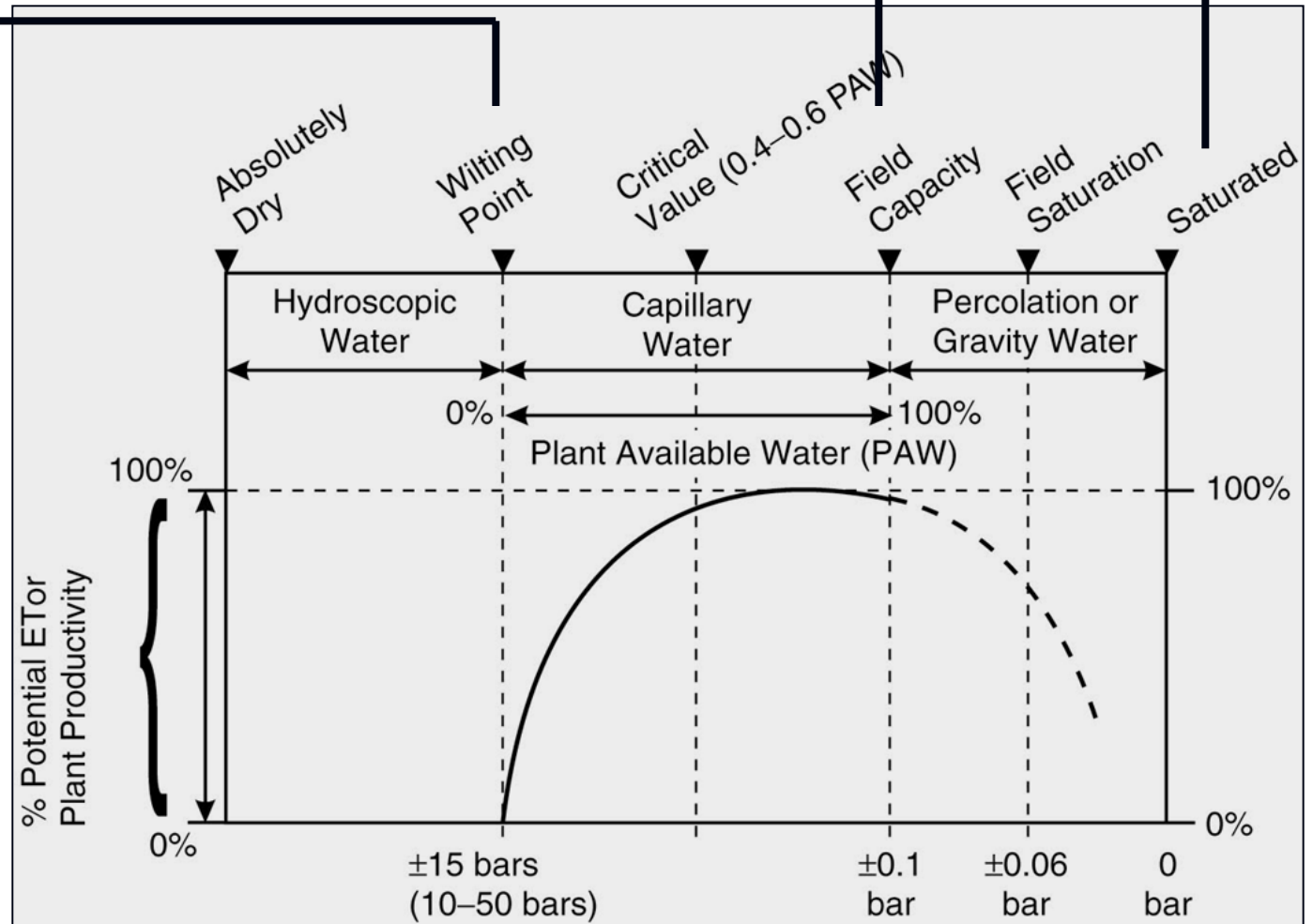
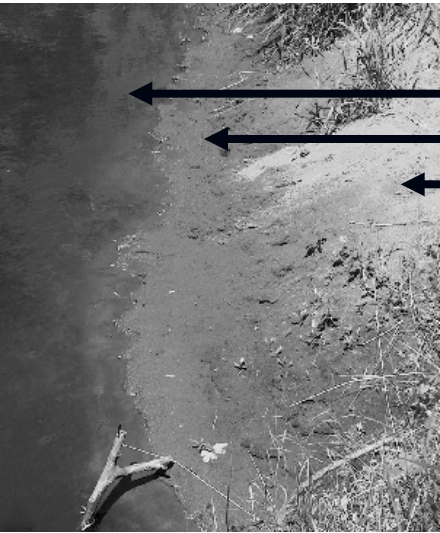


La combinación de ambos da lugar a la tensión mátrica



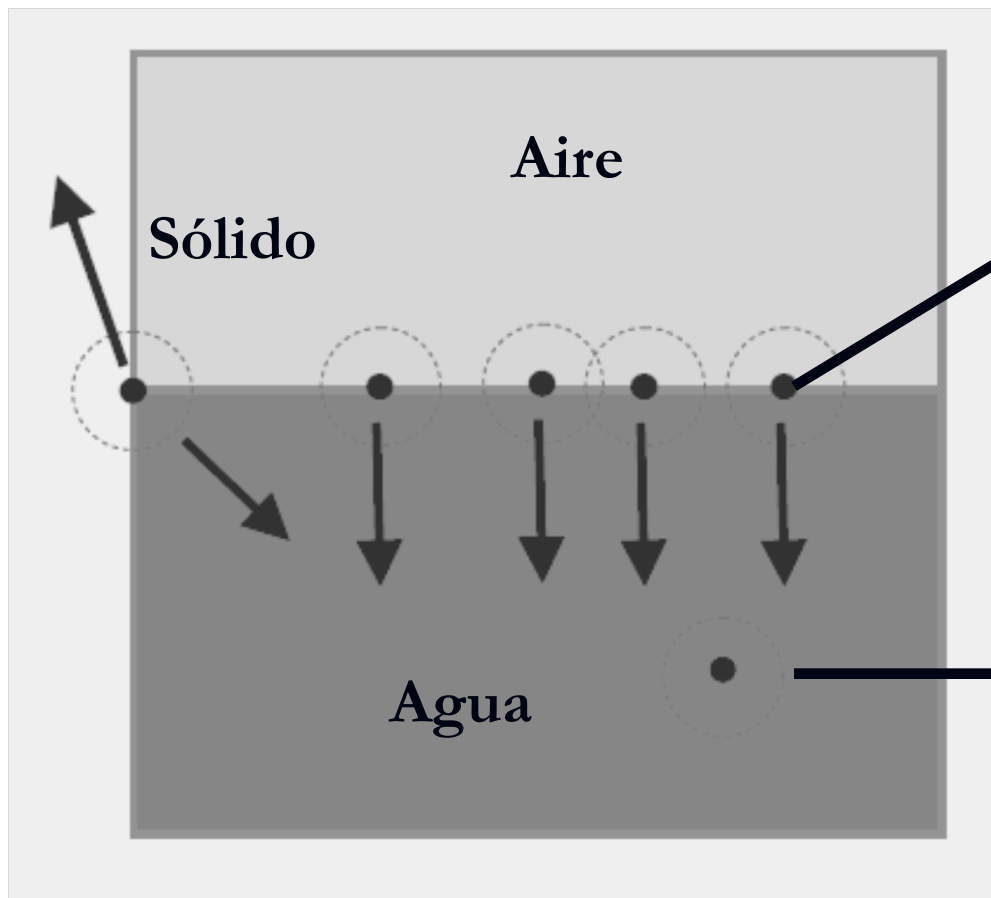
**FIGURE 4-6** In A, types of soil water are shown, plus the moisture constants, the corresponding soil-water potential in bars, and the amount of average pore space. Parts B, C, D, and E illustrate the soil pores at each constant, and F illustrates the water films.

# Respuesta de la planta al contenido de agua en el suelo

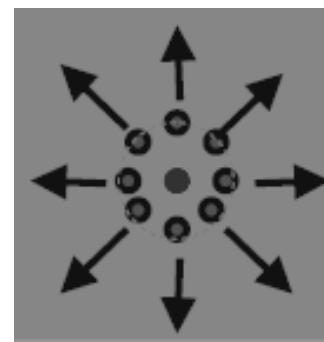


# 4. Componentes del potencial total del agua

## Cálculo del ascenso capilar

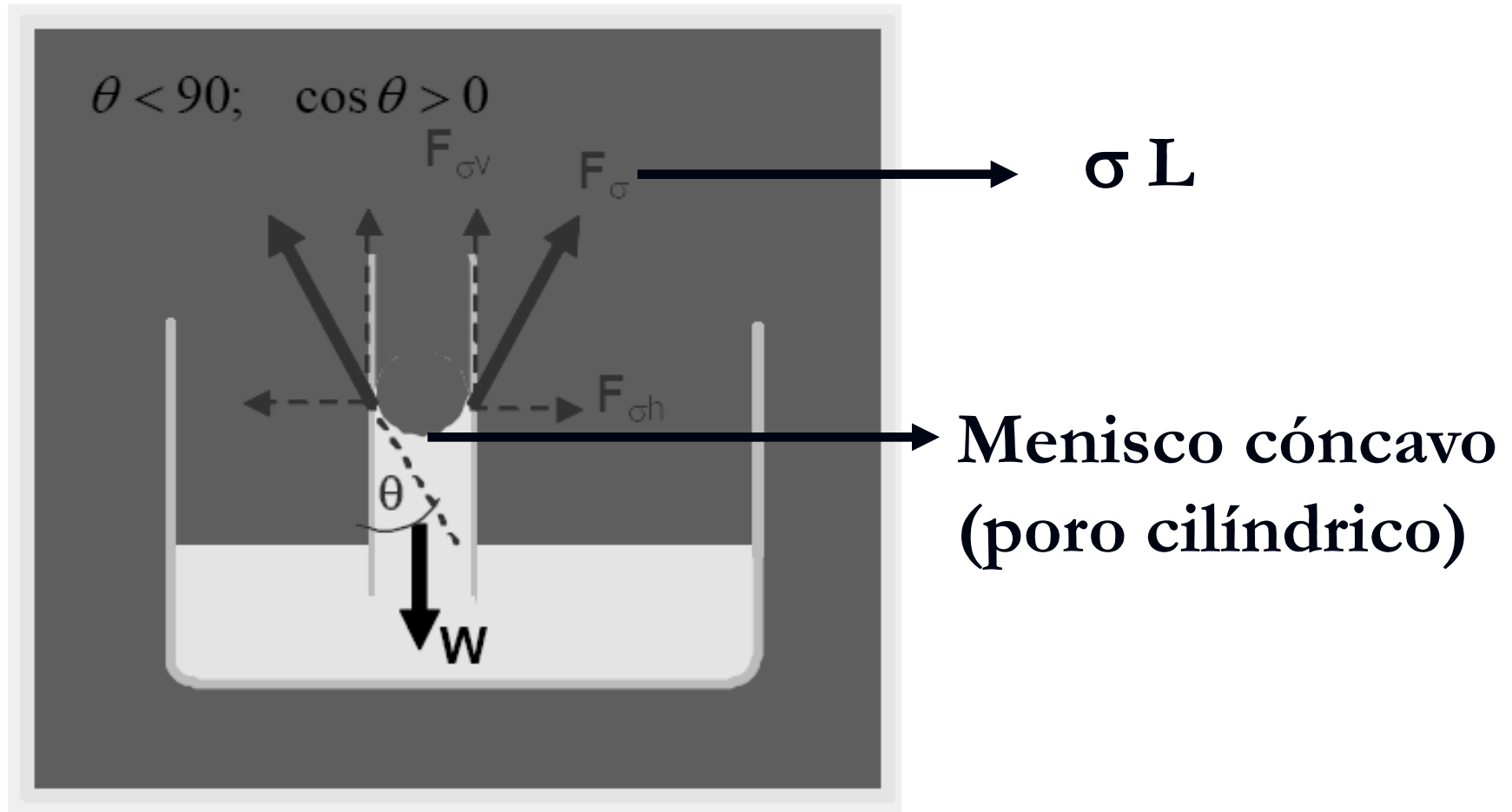


Fuerzas de atracción  
hacia el seno del  
líquido



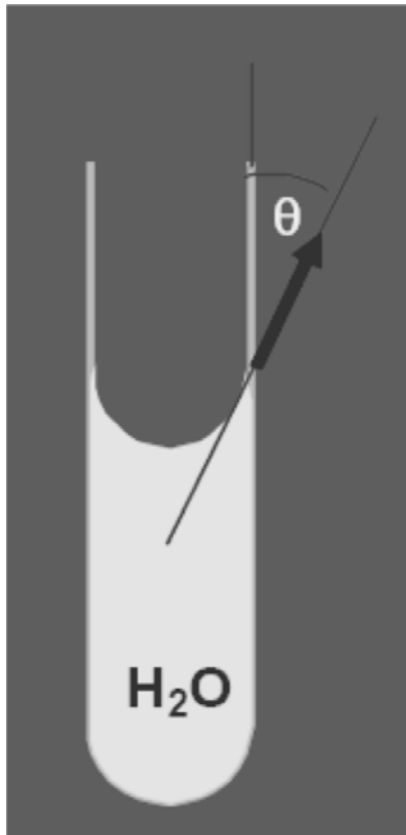
# 4. Componentes del potencial total del agua

## Cálculo del ascenso capilar



# 4. Componentes del potencial total del agua

## Cálculo del ascenso capilar



$\theta < 90^\circ \rightarrow$  líquido moja el sólido

$\theta > 90^\circ \rightarrow$  líquido no moja el sólido

# 4. Componentes del potencial total del agua

## Cálculo del ascenso capilar

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 viene dada por:

$$\Delta P = 2 \sigma \cos \alpha / r \text{ (Ec. Laplace)}$$

Donde:

$\Delta P$ = 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).



## 4. Componentes del potencial total del agua

### □ Potencial osmótico

Componente debida al efecto que tienen los solutos sobre la energía de las moléculas de agua, lo que supone una disminución de la energía potencial del agua en solución respecto al agua pura.

Expresado como energía por unidad de volumen:

$$\Psi_o \text{ (atm)} = - MRT$$

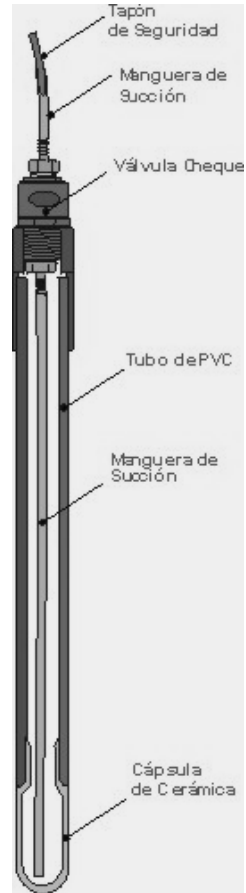
$\Psi_o$  = potencial osmótico (atm)

M = molalidad de la solución (moles soluto/kg disolvente)

R = cte universal de los gases (0.082 atm L K<sup>-1</sup> mol<sup>-1</sup>)

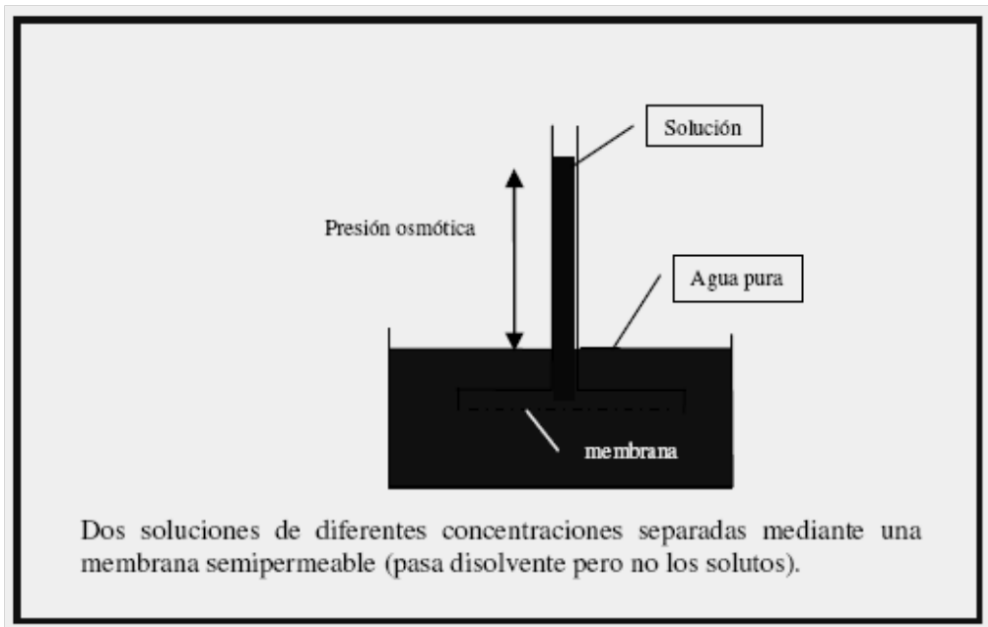
T = temperatura absoluta (K)

$$\Psi_o \text{ (atm)} = - 0.36 CE_{ss} \text{ (dS/m)}$$



## 4. Componentes del potencial total del agua

### □ Efecto de los solutos sobre la energía del agua (OSMOSIS)



**Presión Osmótica → Presión que se debe aplicar a la solución para compensar la ósmosis.**

**Distinto estado energético entre el 'agua pura' y la 'solución'.**

**El equilibrio energético entre ambas soluciones se produce a través del efecto osmótico.**

# 4. Componentes del potencial total del agua

## □ MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL SUELO

El agua se desplaza espontáneamente de puntos de mayor energía a los de menor energía.

Las componentes a tener en cuenta son sólo  $\Psi_p$  y  $\Psi_g$ , porque  $\Psi_o$  afecta sólo cuando hay una barrera semipermeable, como es el caso de las membranas celulares de las plantas.

POTENCIAL HIDRÁULICO DEL SUELO ( $\Psi_H$ )

$$\Psi_H = \Psi_g + \Psi_p$$

# 5. Curvas características de humedad

## □ DEFINICIÓN

*Curvas que relacionan el contenido de agua con el potencial de presión del suelo ( $\Psi_p$ ), que para suelos no saturados también se denomina potencial matricial ( $\Psi_m$ ).*

✓ En general, estas curvas se obtienen en el laboratorio utilizando muestras inalteradas de suelo y un equipo de placas de presión (cámara de presión de Richards).

✓ El contenido de agua de un suelo

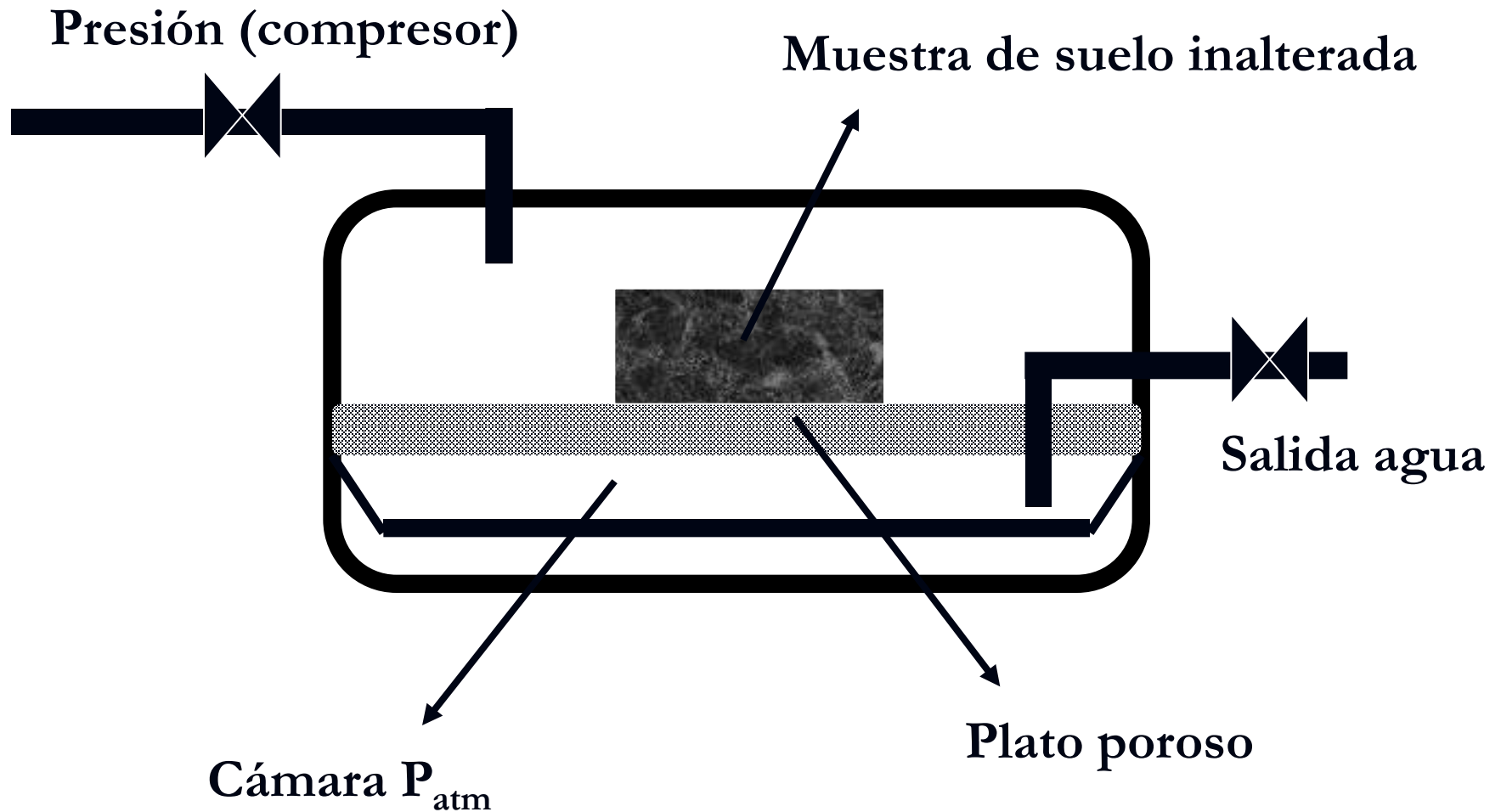
- A bajas succiones →  $f$  (estructura)

- A altas succiones →  $f$  (textura)

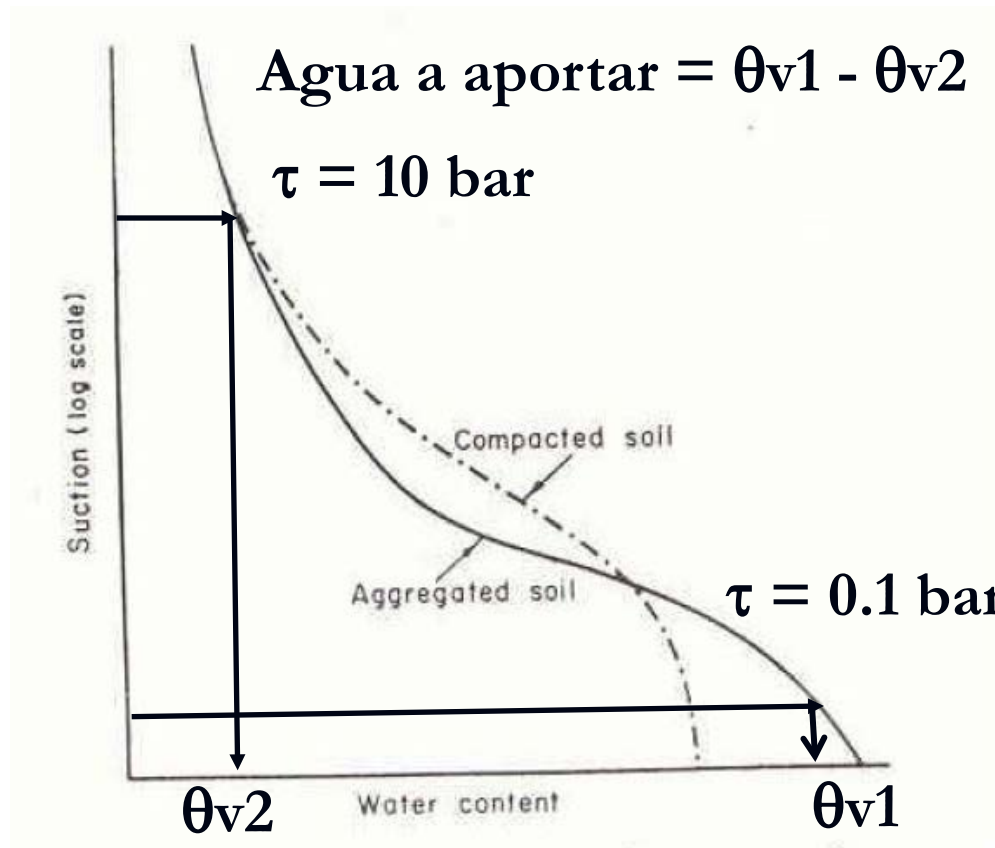
Estructura del suelo → determina la proporción de poros grandes

Textura del suelo → determina la proporción de poros pequeños

# CÁMARA DE PRESIÓN DE RICHARDS

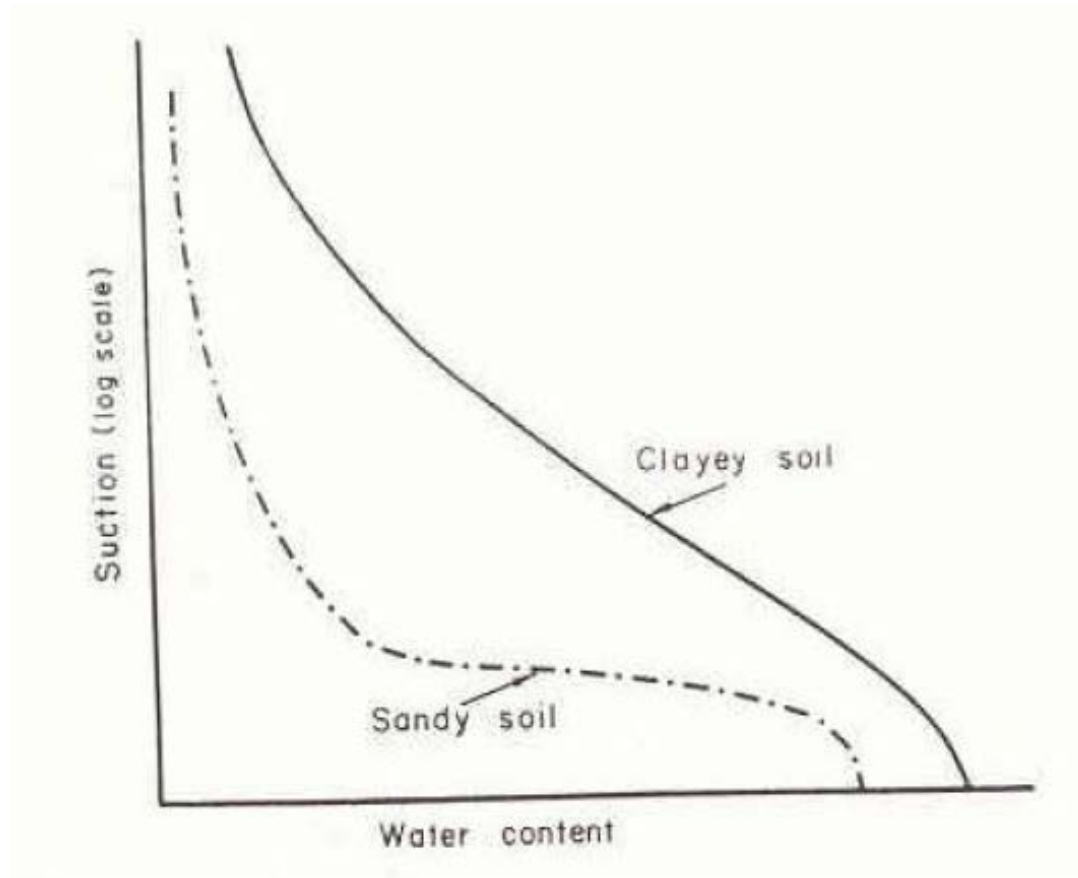


## 5. Curvas características de humedad



**Efecto de la estructura sobre la retención de agua de un suelo**  
**Succión =  $-\Psi_m$**

## 5. Curvas características de humedad



**Efecto de la textura sobre la retención de agua de un suelo**



# 5. Curvas características de humedad

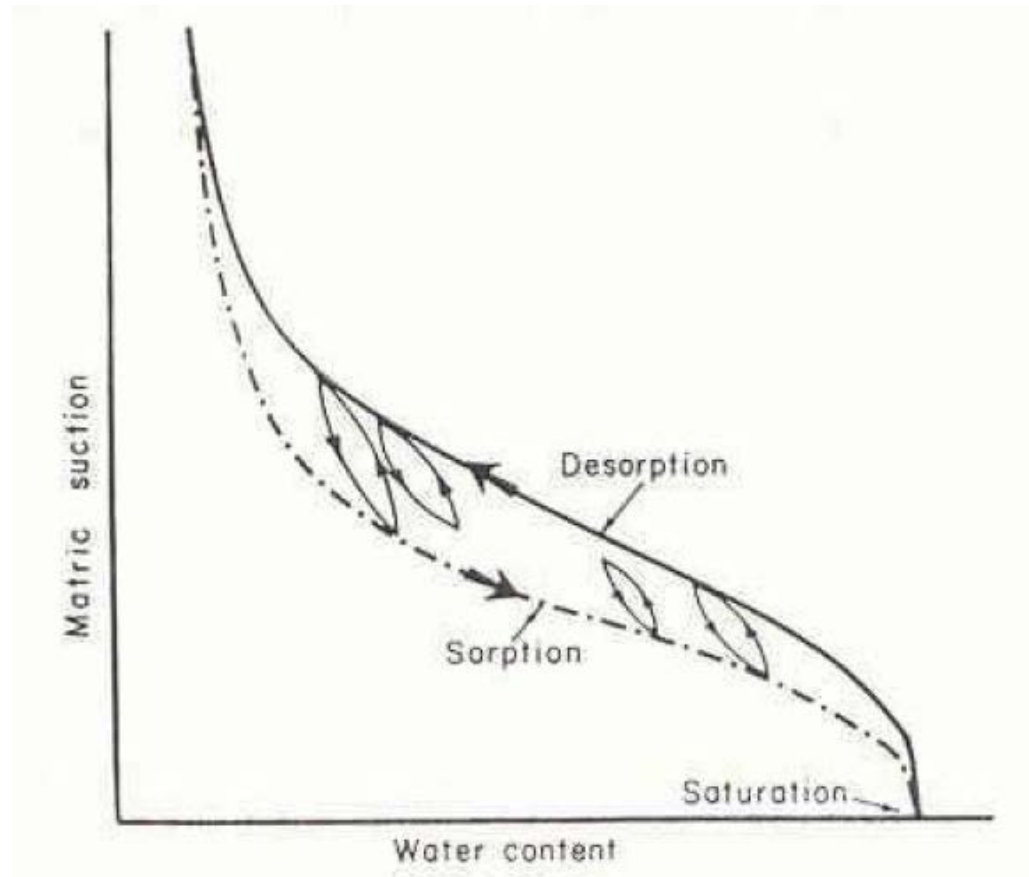
## □ HISTERESIS

*Fenómeno que afecta a la relación entre el contenido de agua del suelo y su tensión.*

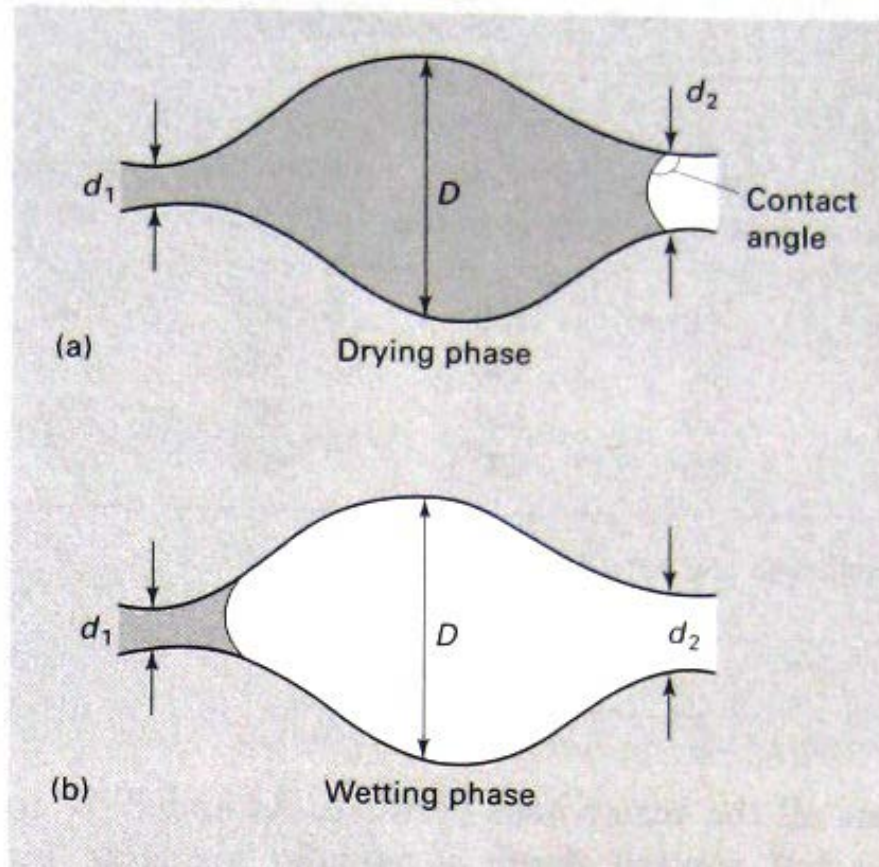
*Para un mismo potencial podemos tener dos contenidos de humedad en función de si a ese contenido de agua se ha llegado a través de un proceso de desecación o de humectación.*

➔ Este hecho obliga a que cuando se necesite conocer con exactitud el contenido de agua de un suelo o su potencial haya que recurrir a su medida directa.

# 5. Curvas características de humedad



Representación del fenómeno de histéresis



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

**Poros grandes con cuellos estrechos se llenan y se vacían a presiones distintas**