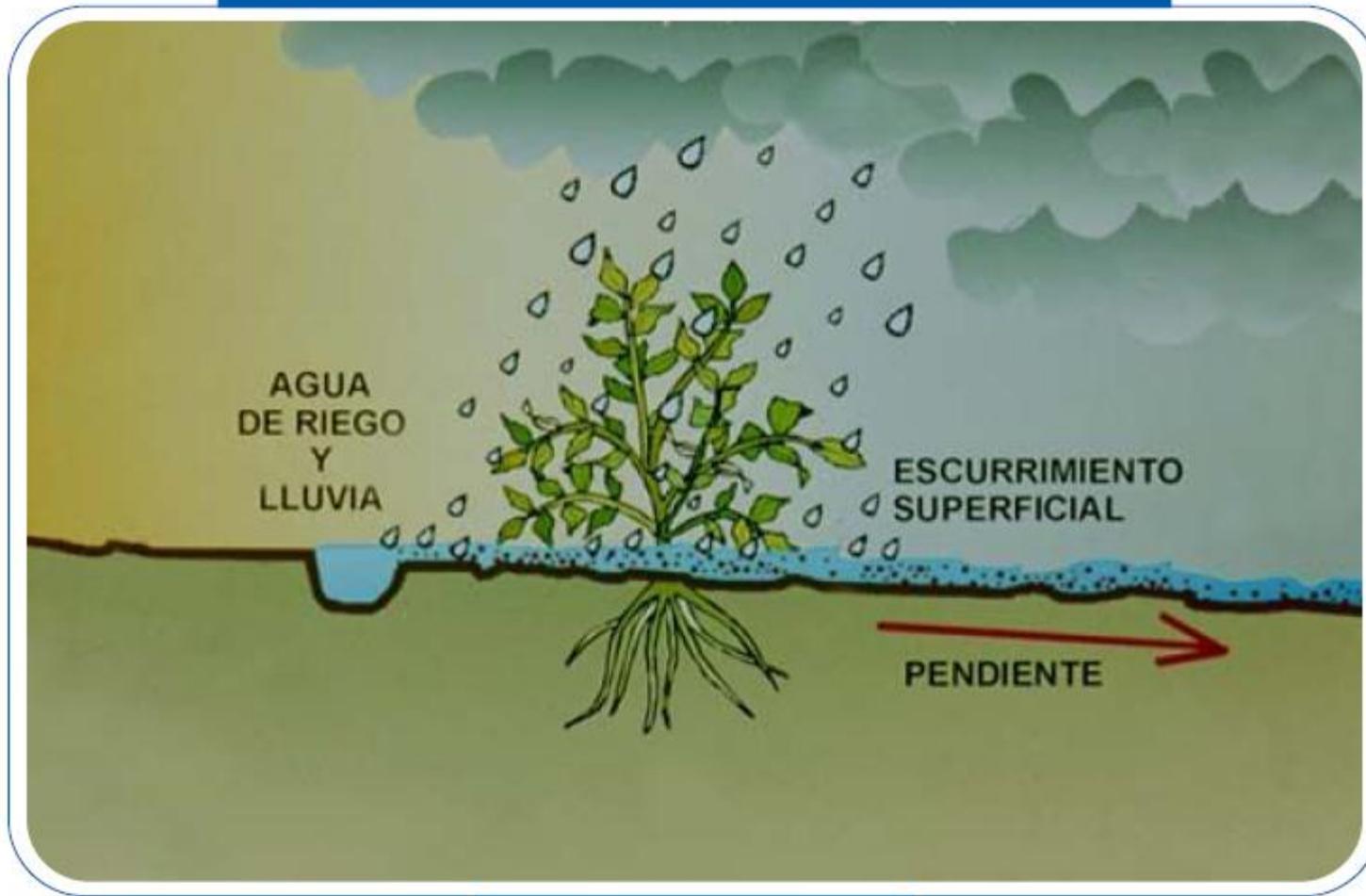


## Pérdida por escurrimiento superficial



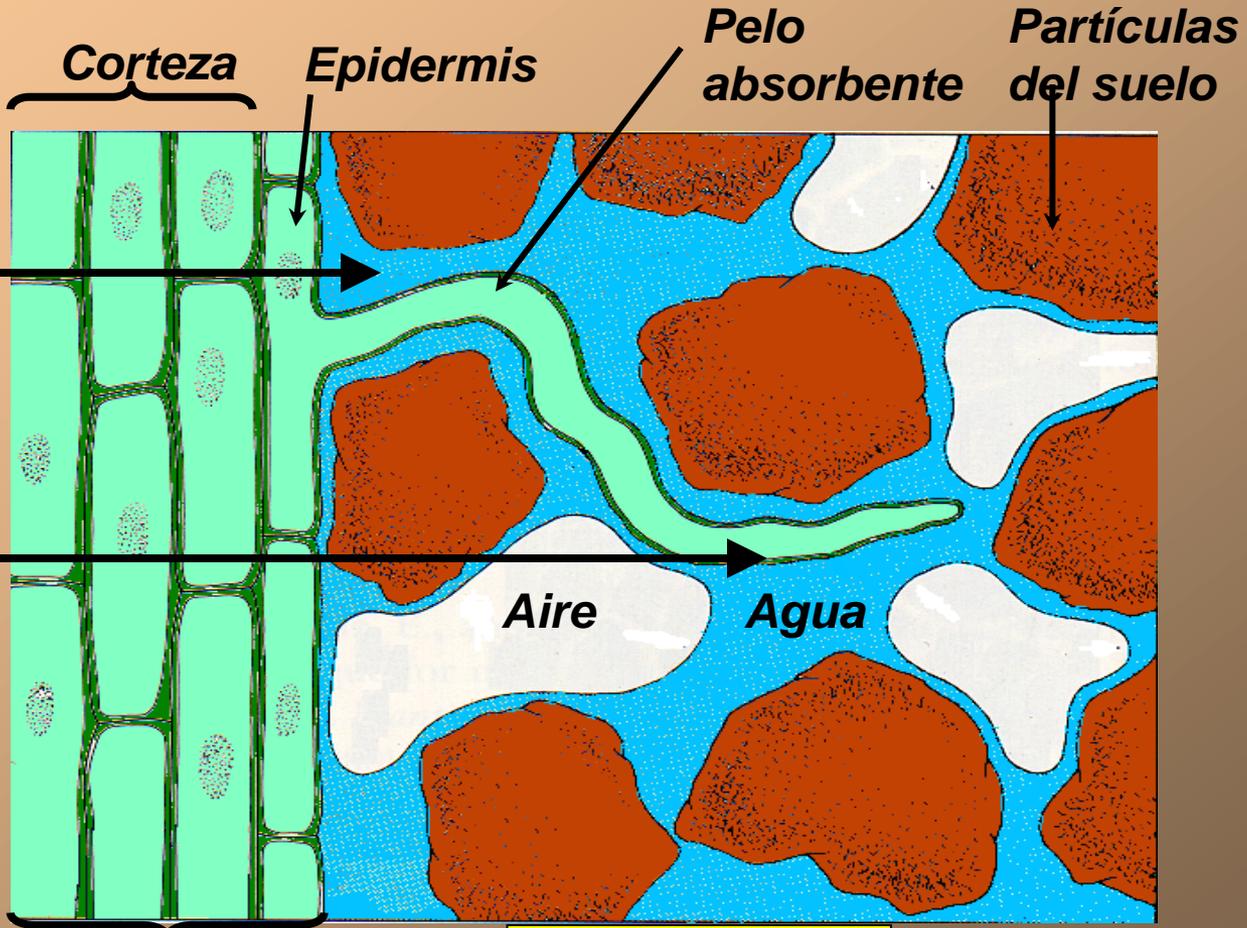
**Flujo del agua**

**Agua en el suelo**

Conductividad hidraulica  
La conductividad hidráulica es el parámetro que indica la movilidad del agua subterránea.

Gradiente de presión radical

Flujo masivo del agua es unidireccional



**Raíz**

$\Psi_{raíz} = \Psi_{suelo}$

## Conductividad Hidráulica.

Es el factor de proporcionalidad de la ley de Darcy,

Dice que la velocidad del flujo del agua a través de una columna de suelo saturado, es directamente proporcional a la diferencia en carga hidráulica e inversamente proporcional a la longitud de la columna.  
(Forsythe, 1985)

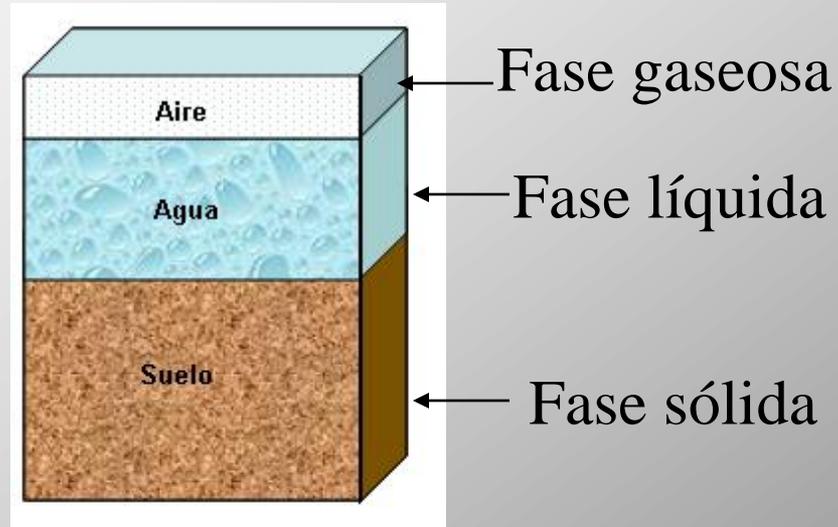
**Conductividad hidráulica:**

Facilidad con la que el agua se mueve a través de los espacios porosos del suelo con relación directa con la textura.

# Vía apoplasto y simplasto

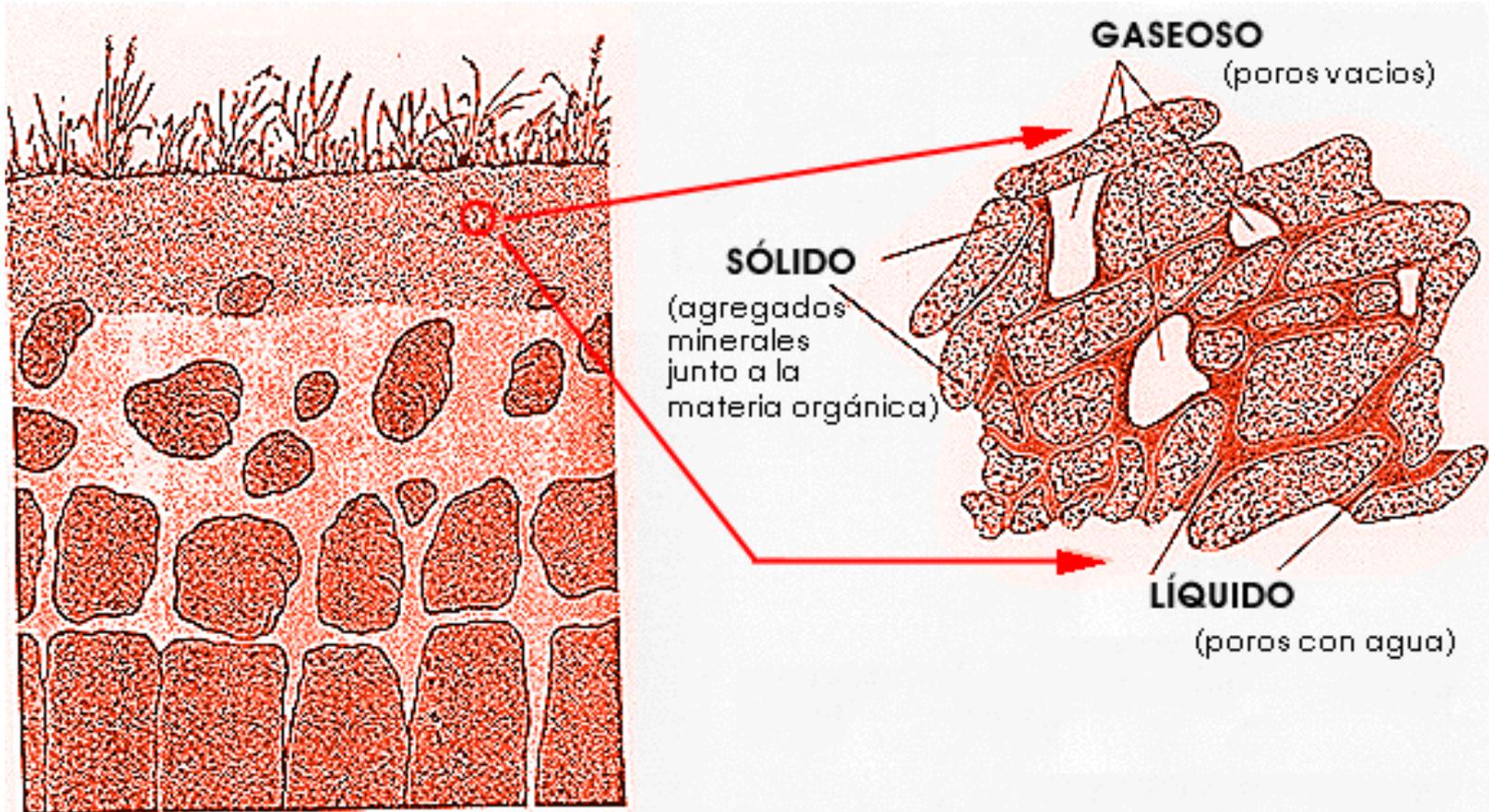


# Composición general del Suelo



- 1). Los materiales minerales.
- 2). La materia orgánica.
- 3). El aire.
- 4). El Agua.

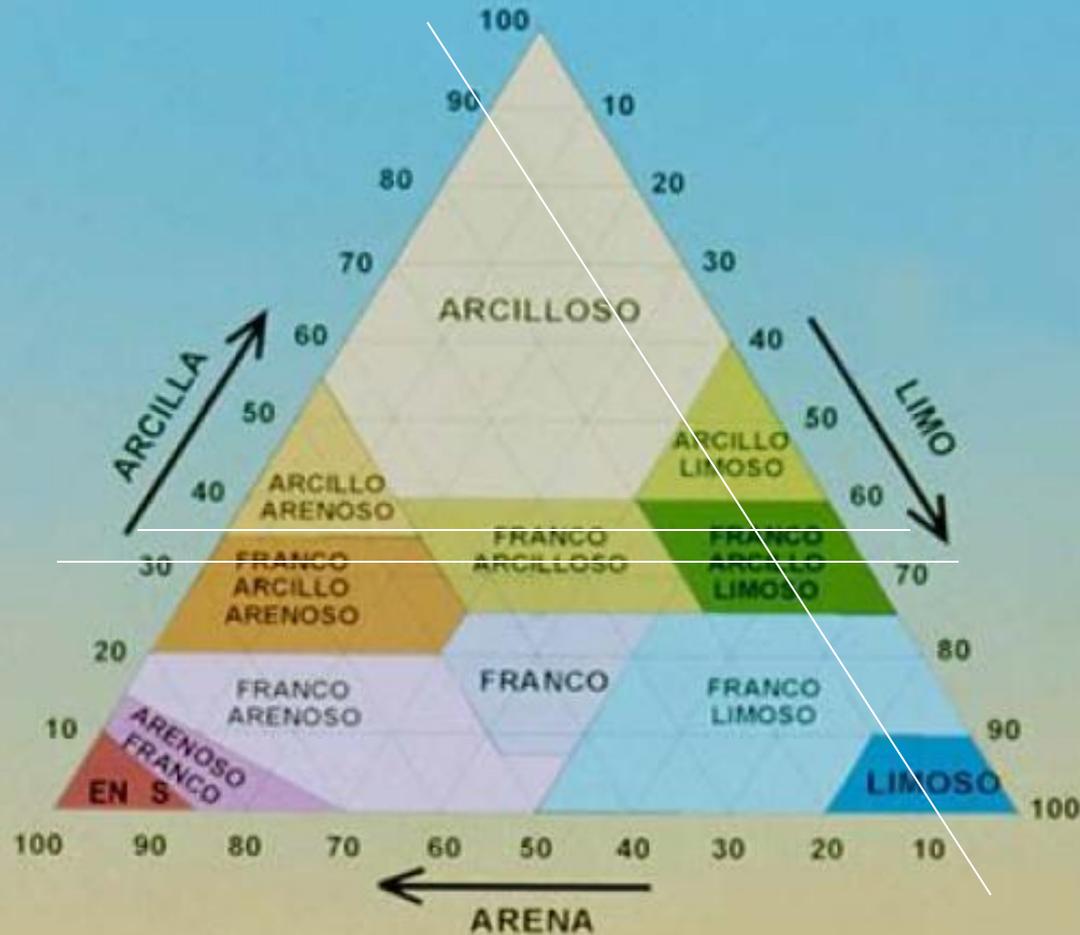
## Agregado de suelo: unidad estructural del suelo



**Interfaces sólido-líquido, sólido-gas**

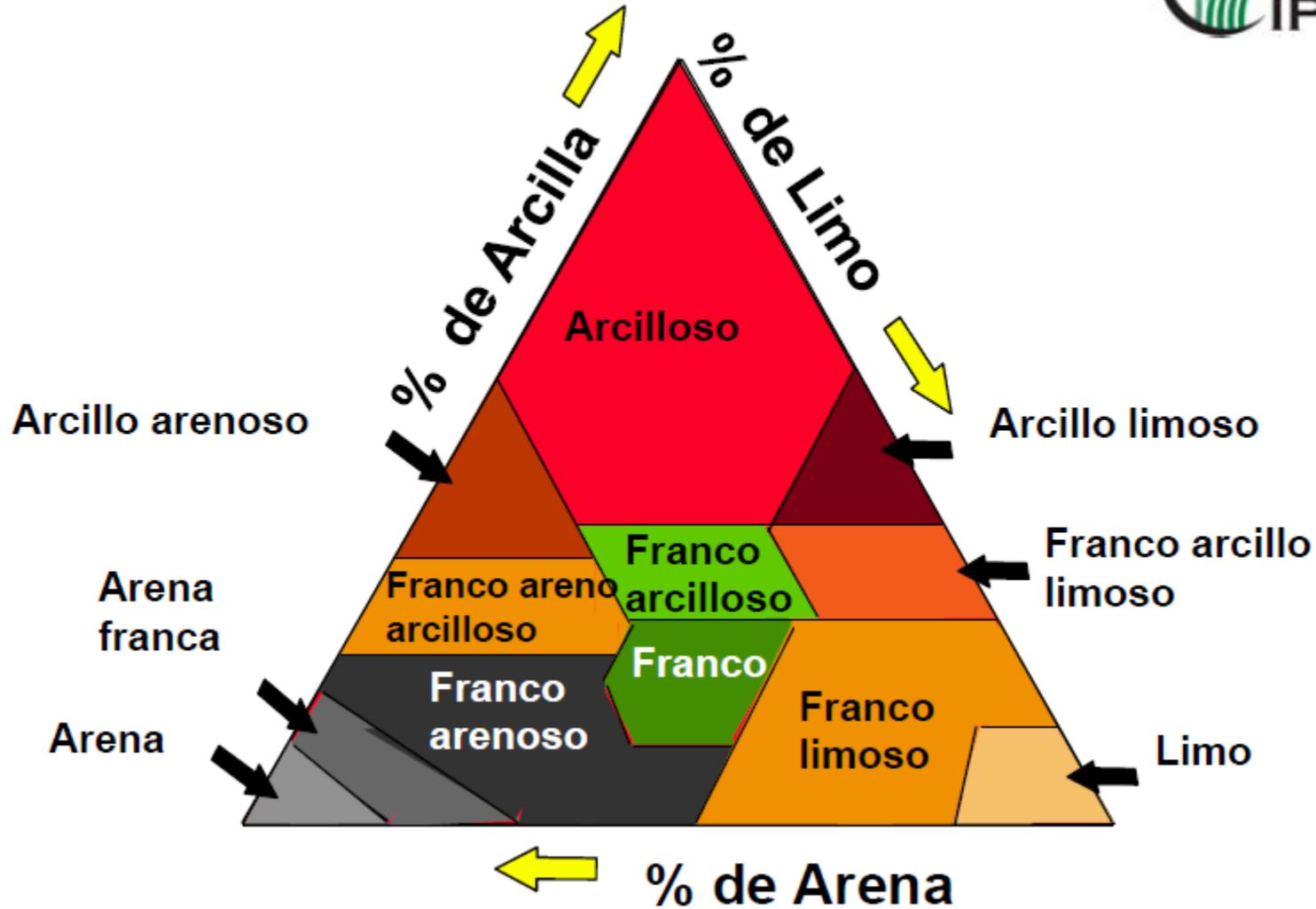
**MICROAMBIENTES**

## Procedimiento para el uso del triángulo de texturas



La textura del suelo se refiere al tamaño de las partículas que lo forman. De acuerdo con ello, existen tres fracciones: arena, limo y arcilla, las que combinadas en distintas proporciones definen las diversas texturas que se indican en esta representación. Suelos arenosos, suelos francos, suelos arcillosos y las posibilidades intermedias de combinación.

# Textura del suelo



## Textura arenosa



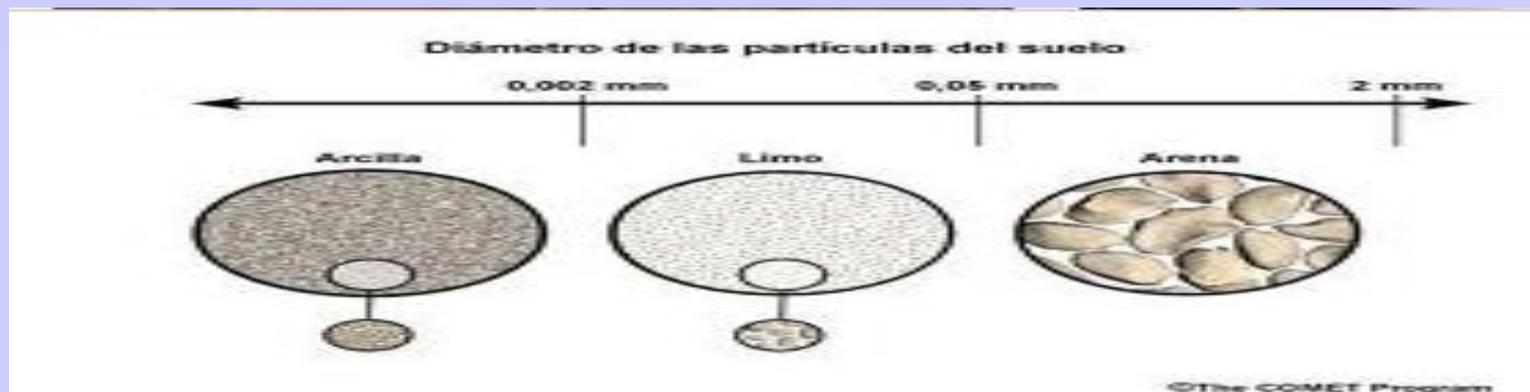
## Textura arcillosa



## Textura franca



Son suelos francos típicos los de las vegas de los ríos.



PARTÍCULAS DEL SUELO	DIÁMETRO (micras)
Arenas gruesas	2000-200
Arenas finas	200-20
Limos	20-2
Arcillas	Menor que 2

Clasificación de las partículas de suelo de acuerdo con su diámetro.

# Características Físicas del Suelo

## 1.- Textura

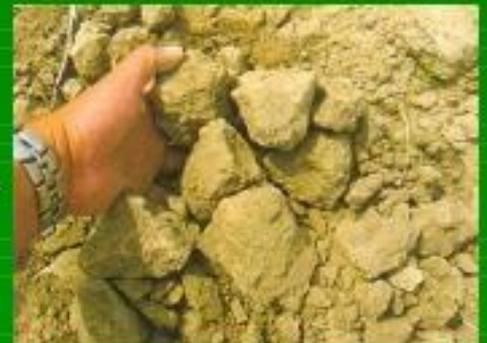
La textura del suelo se refiere a las cantidades relativas de partículas de diverso tamaño :

La arena, el limo y la arcilla;

Ningún suelo esta compuesto de una sola elemento, lo normal es que exista una mezcla variable de ellas.

De acuerdo a los porcentajes relativos de cada partícula que contiene los suelos presentan distintas texturas, como :

- Suelos arenosos : Predomina la arena
- Suelos limosos o francos : Predomina el limo
- Suelos arcillosos : Predomina la arcilla



# Clasificación de las partículas del suelo

	Nombre	Diámetro (mm)
	Arcilla	$< 0,002$
	limo	$0,002 - 0,005$
	arena	$0,005 - 2,0$
	gravas	$2,0 - 20,0$
	guijarros	$> 20$

**Proporciones media de arcilla, arena  
y limo de un suelo**

**PROPORCIÓN IDEAL DE TEXTURA**



Suelo con estructura destruida



Suelo de estructura granular



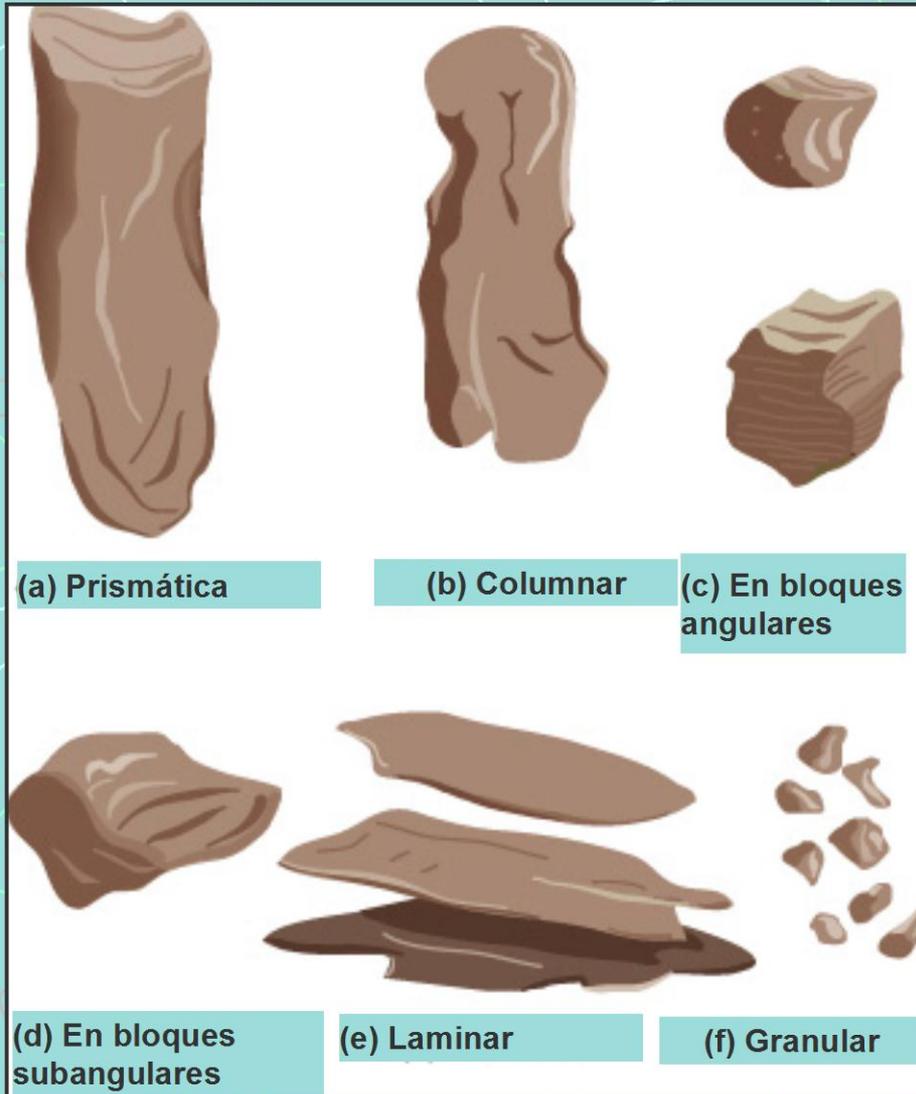
Rol de la materia orgánica en la estabilidad de los agregados



La forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla.



## Algunos tipos de estructuras del suelo.



# Tipos de agua en el suelo

## a) Agua gravitacional.

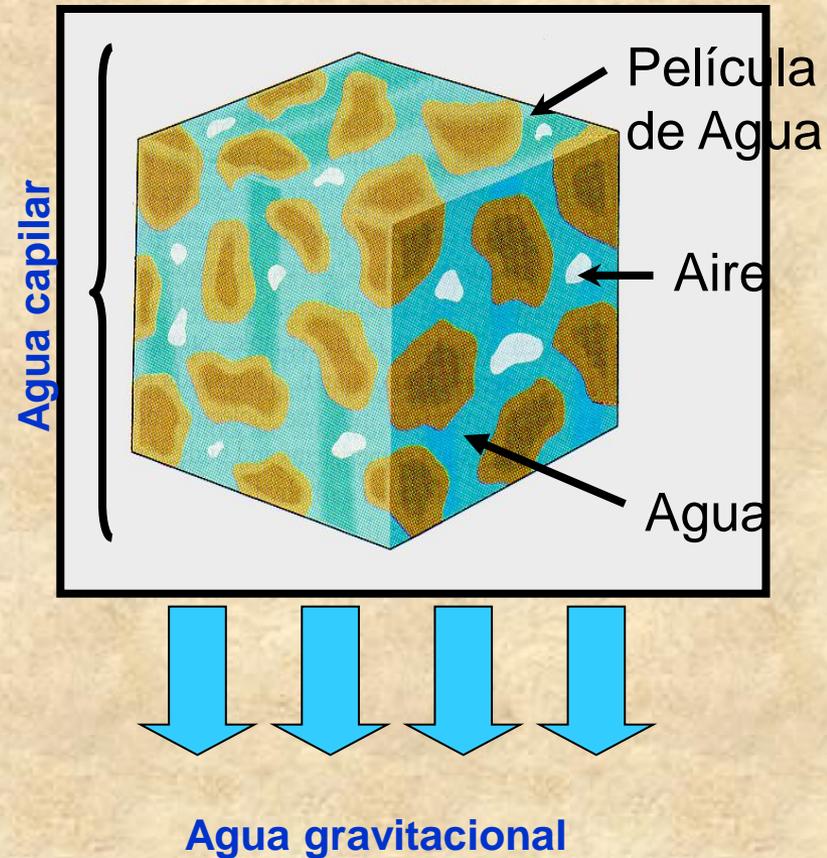
Es el agua que se filtra hacia las zonas inferiores del suelo una vez que los espacios porosos han sido saturados.

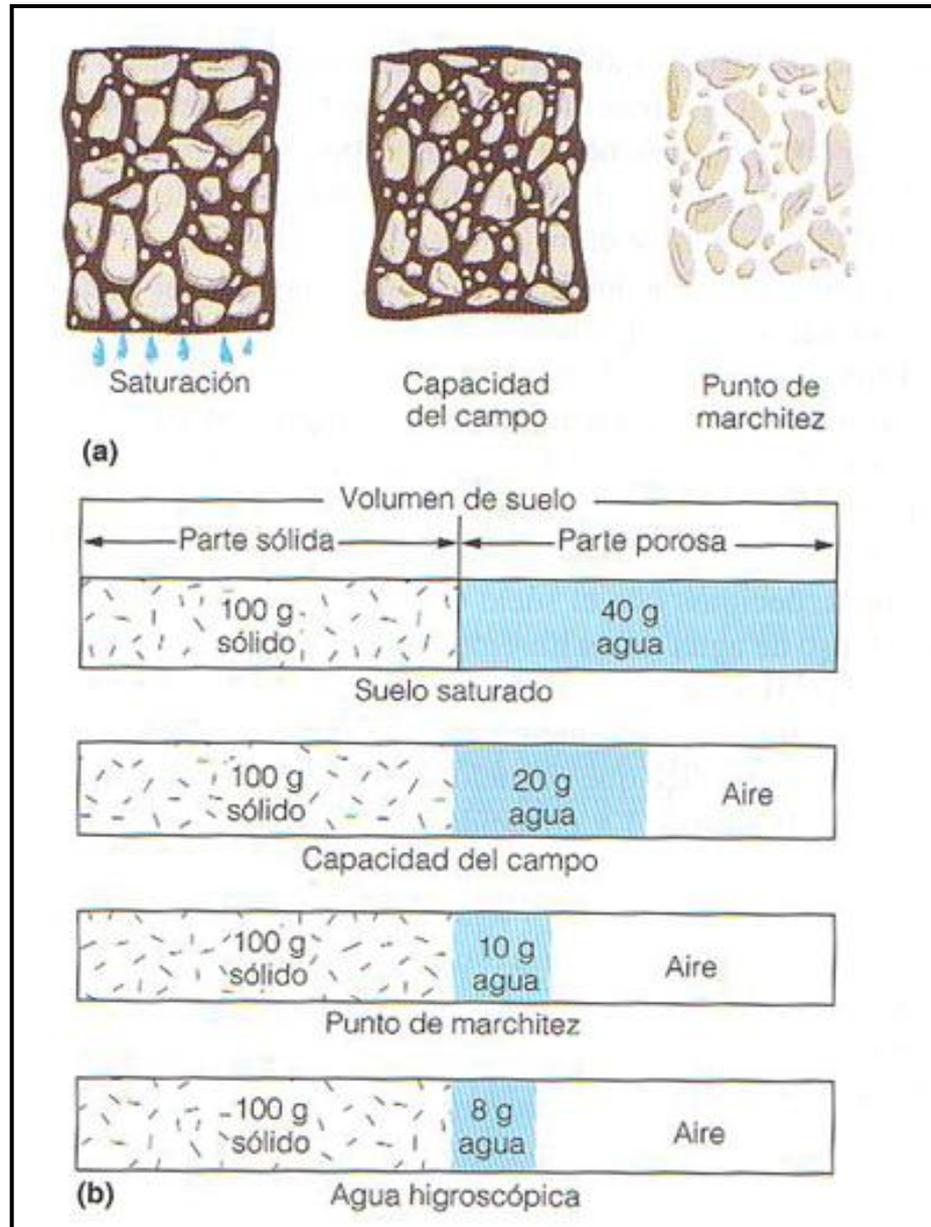
## b) Agua higroscópica o mátrica

Es el agua que queda retenida a las partículas sólidas (recordemos la polaridad del agua y las cargas negativas en la superficie de las arcillas).

## c) Agua capilar

Agua aprovechable por la planta, es la que forma parte de la solución del suelo y se encuentra llenando los espacios porosos que quedan entre las partículas de suelo.

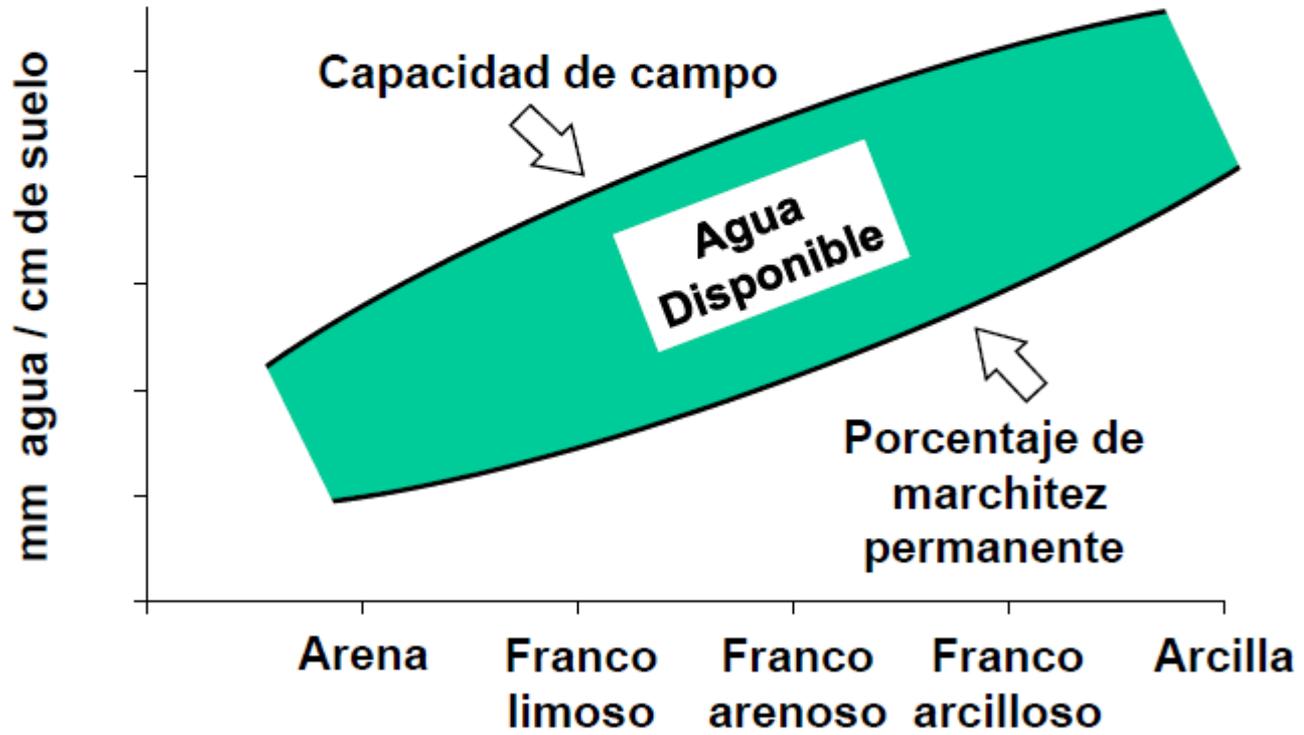


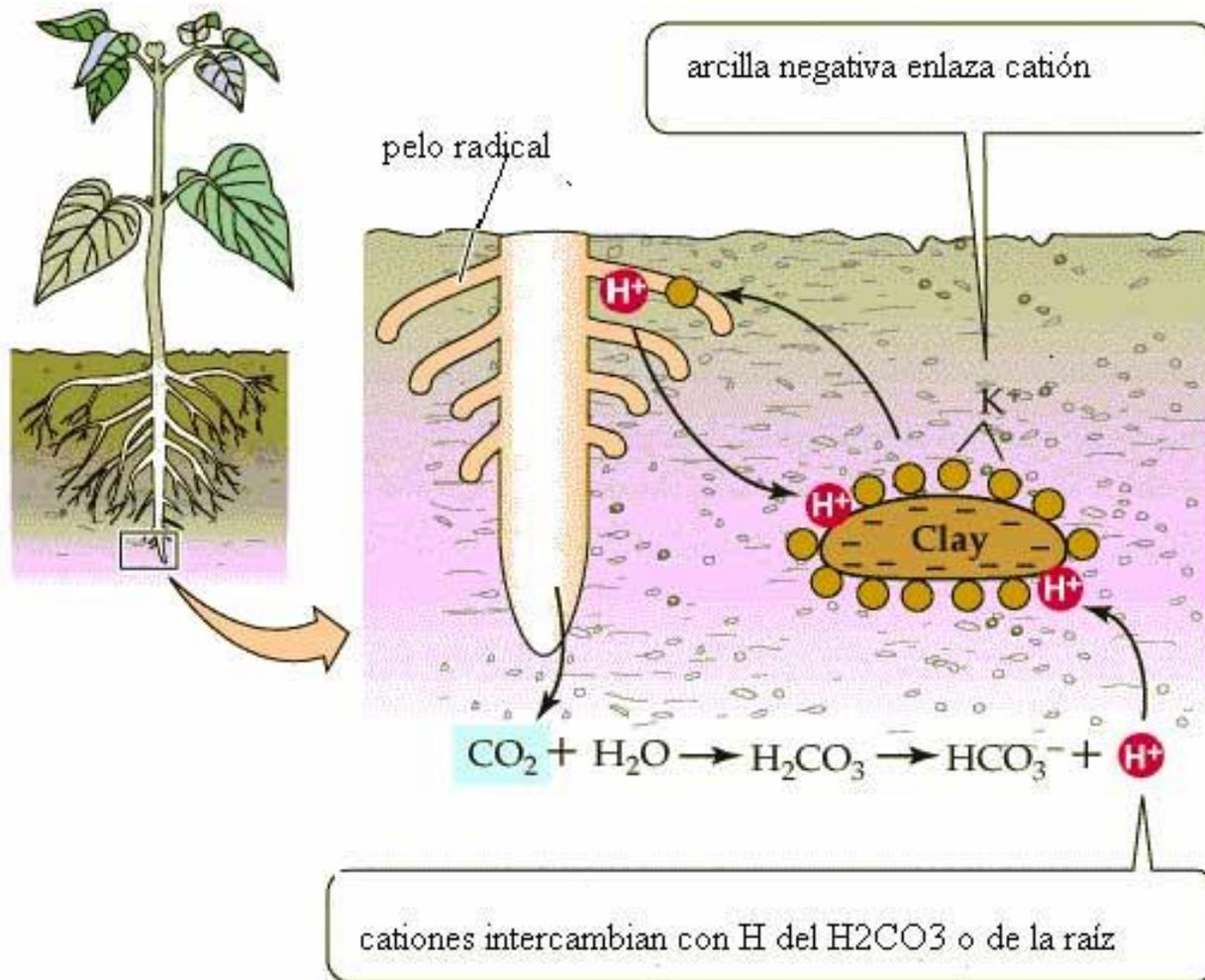


(a) Partículas de tierra, agua y aire con distintos niveles de humedad.

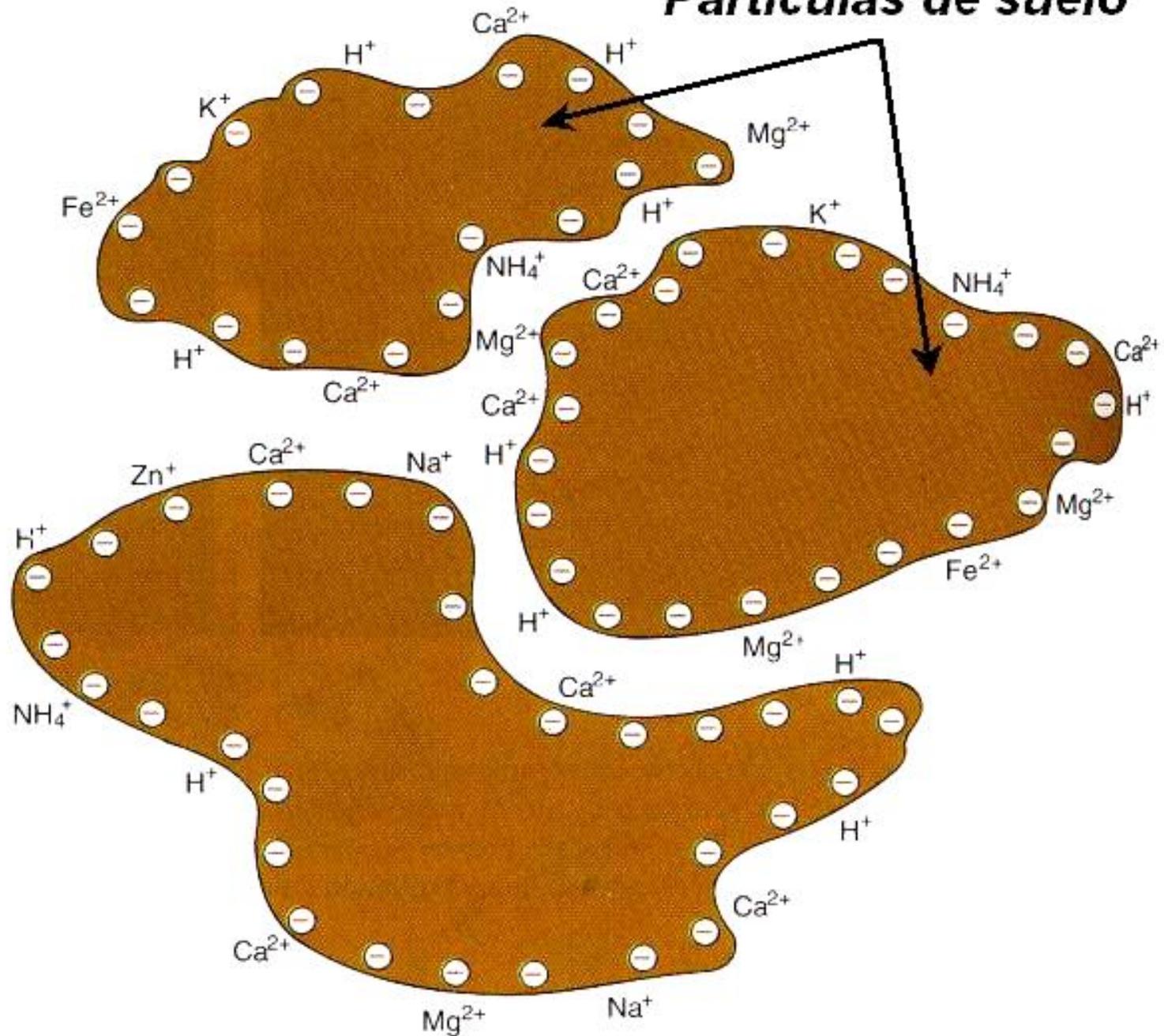
(b) Proporciones de sólidos, agua y aire en los tres niveles anteriores, y cuando sólo queda el agua higroscópica.

# Relación entre la textura del suelo y la disponibilidad de agua





# Partículas de suelo



# Potencial hídrico del suelo

1. Fuerza gravitacional,
2. Concentración de solutos de la solución
3. Fuerza de atracción que ejercen las partículas sólidas

$$\Psi_{\text{suelo}} = \Psi_g + \Psi_s + \Psi_m$$

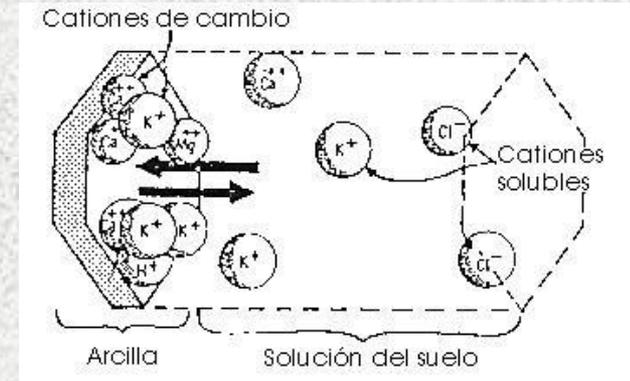
Donde:

$\Psi_{\text{suelo}}$  =  $\Psi_{\text{potencial hídrico del suelo}}$

$\Psi_g$  =  $\Psi_{\text{potencial gravitacional}}$

$\Psi_s$  =  $\Psi_{\text{potencial osmótico}}$

$\Psi_m$  =  $\Psi_{\text{potencial mátrico}}$



Dado que el potencial osmótico no influye en el movimiento de agua en el suelo

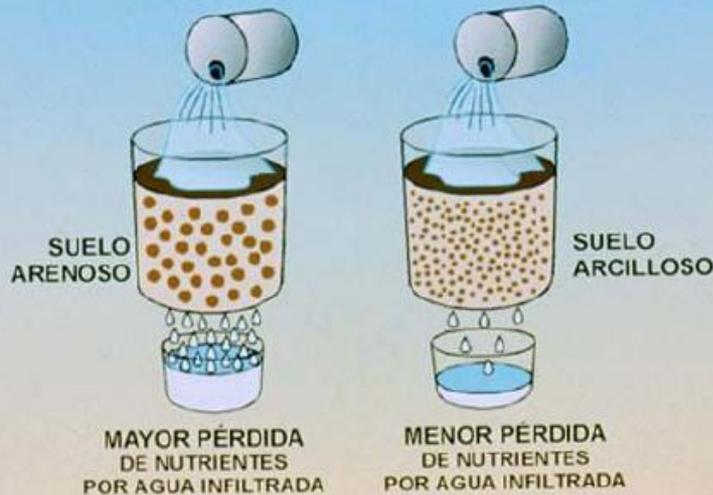
$$\Psi_{\text{suelo}} = \Psi_m \quad -0.033 \text{ Mpa}$$

$$\Psi_{\text{suelo}} = \cancel{\Psi_g} + \Psi_s + \Psi_m$$

20 m

$$\Psi_{\text{suelo}} = \Psi_s + \Psi_m$$

### Representación de capacidad de retención de agua de un suelo arenoso y uno arcilloso



El potencial mátrico se utiliza para evaluar las fuerzas que causan la imbibición o retienen el agua de cualquier matriz, en este caso las partículas del suelo

El  $\psi_m$  se mide con tensiómetros a la profundidad deseada (0-30cm).

### Determinación de la textura por el tacto



## **NIVELES DE HUMEDAD DEL SUELO**

---

- SUELO SATURADO
- CAPACIDAD DE CAMPO
- PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE
- HUMEDAD APROVECHABLE

Tanto la CC como el PMP indican un porcentaje de agua en el suelo, el primero corresponde al 100% de humedad aprovechable (HA), mientras que el segundo equivale a 0% de HA.

## DEFINICIÓN DE CAPACIDAD DE CAMPO

La CC = La cantidad de agua que un suelo retiene en sus poros capilares contra la fuerza de gravedad, después de haber sido saturado y drenado libremente evitando la evaporación.

En términos de potencial hídrico, la CC es la cantidad de agua que un suelo retiene a una tensión de  $-0.033$  MPa.

# DEFINICIÓN DE PUNTO DE MARCHITAMIENTO PERMANENTE

El PMP es el porcentaje de humedad en el cual la planta no puede extraer más agua del suelo, es decir, sólo existe el agua mátrica.



En términos de potencial hídrico, sería la cantidad de agua que un suelo retiene a una tensión de  $-1.5 \text{ MPa}$ .

AGUA  
MATRICA, NO  
DISPONIBLE,  
NO HAY  
DRENAJE

PMP  
0%HA  
-1.5  
MPa

HUMEDAD APROVECHABLE  
AGUA CAPILAR

CC  
100%HA  
-0.033  
MPa

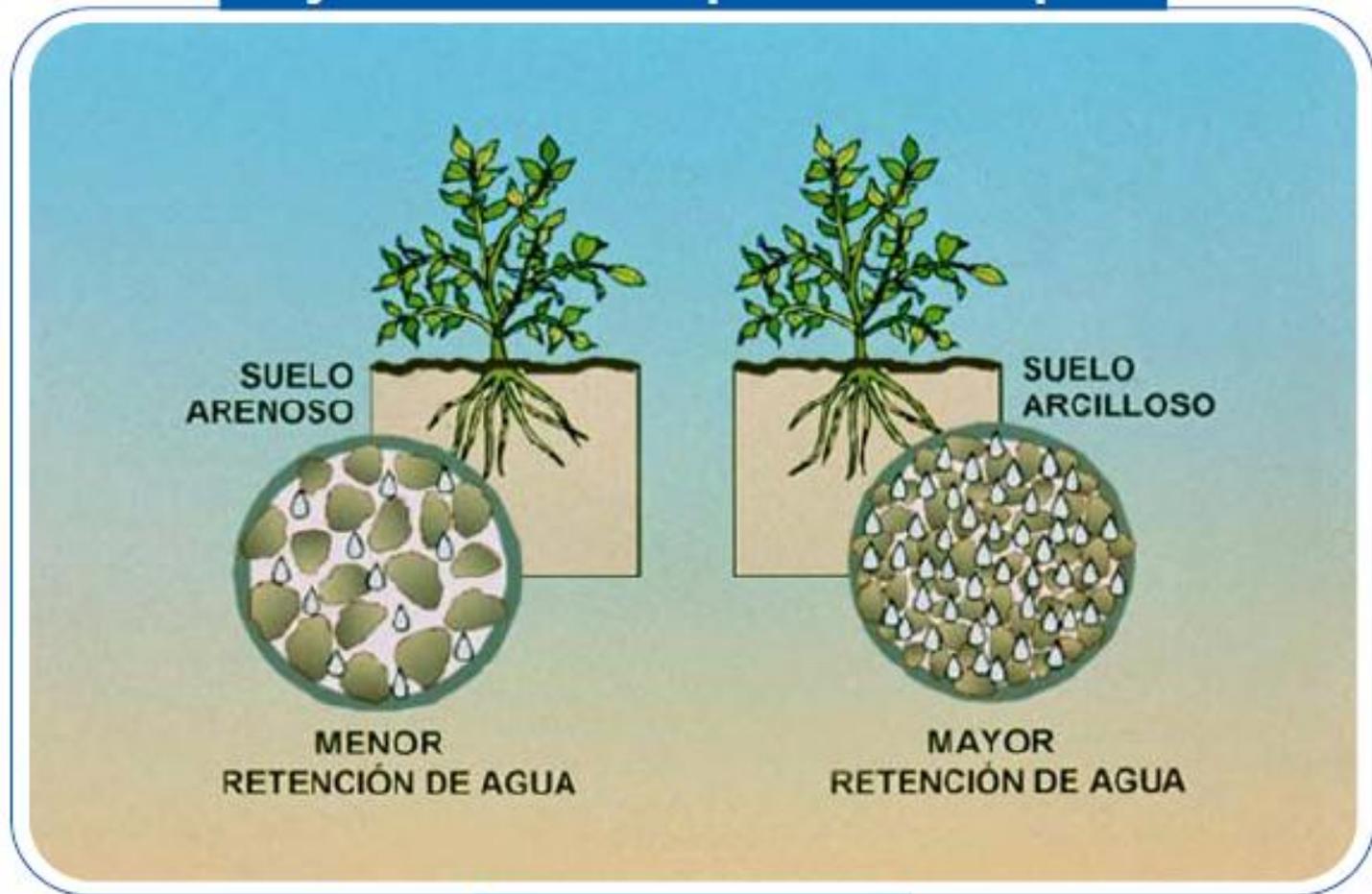
SATURACION.  
AGUA DE  
GRAVEDAD  
DRENAJE  
RAPIDO

INTERVALO DE HUMEDAD APROVECHABLE

## Humedad del Suelo



## Representación de un suelo arenoso y uno arcilloso a capacidad de campo



A capacidad de campo, el agua queda retenida en los capilares o espacios que existen entre las partículas del suelo y en esas condiciones es absorbida por las plantas con mayor facilidad. Dicha capacidad es mayor en los suelos arcillosos que en los arenosos.

## Humedad aprovechable o útil del suelo

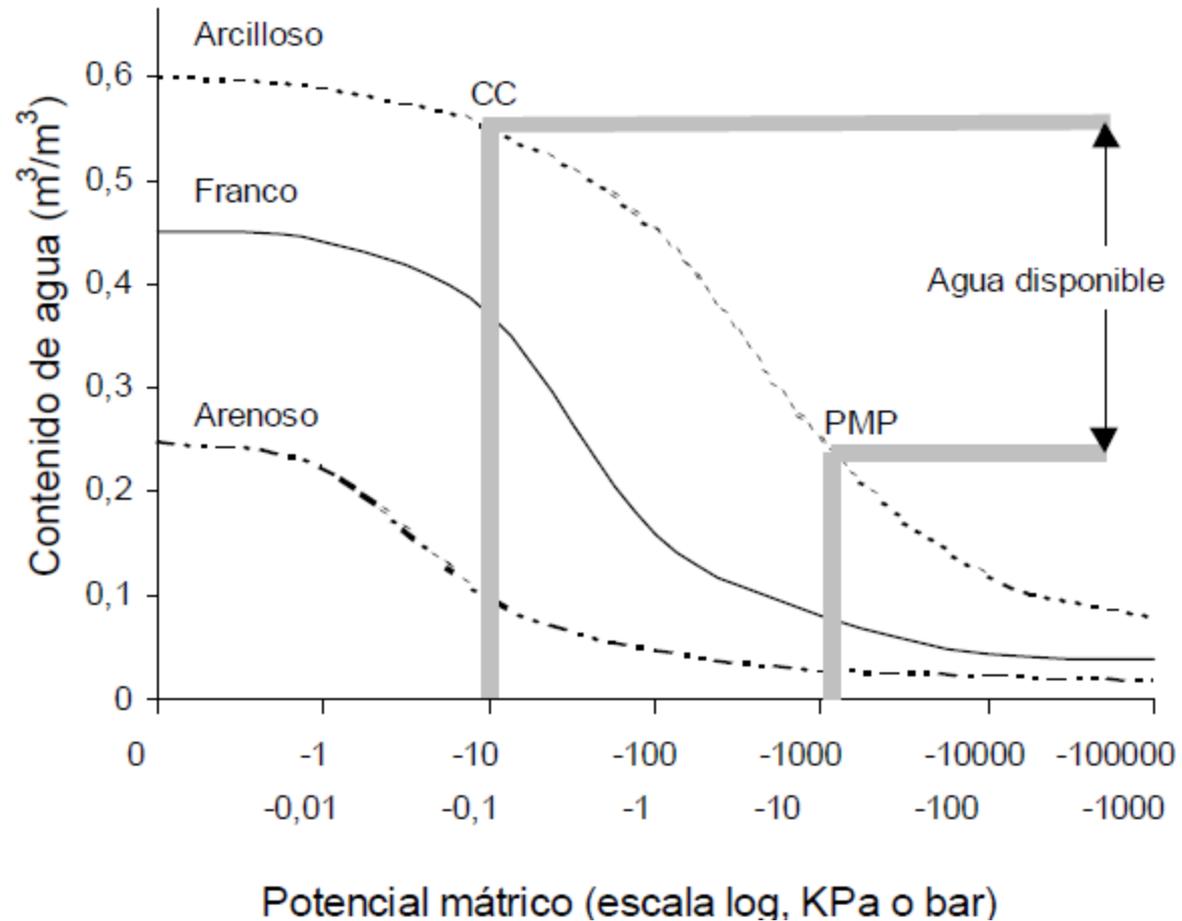
$$\text{HUMEDAD APROVECHABLE} = \frac{\text{CAPACIDAD DE CAMPO} - \text{PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE}}{100}$$

El contenido de agua retenida entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente, conforman la humedad aprovechable o útil del suelo, la que es mayor en suelos arcillosos que en los arenosos.

Valores medios de Capacidad de Campo, Punto de Marchitez Permanente y Humedad Aprovechable para suelos de distintas texturas considerando una proporción normal y homogénea de materia orgánica.

<b>Textura del suelo</b>	<b>Capacidad de campo (CC)</b>	<b>Marchitez permanente (PMP)</b>	<b>Humedad aprovechable (CC-PMP)</b>
Arenoso	9	4	5
Franco arenoso	14	6	8
Franco	22	10	12
Franco arcilloso	27	13	14
Arcillo arenoso	31	15	16
Arcilloso	35	17	18

# Relación entre la textura del suelo y la disponibilidad de agua



## ***Métodos para la medición de humedad***

### 2.3.1- Método gravimétrico

a. Se extrae una muestra de suelo.

b. Se coloca la muestra dentro de un recipiente hermético, previamente pesado.

c. Se efectúa la pesada con la cual se obtendrá el dato de peso húmedo, en una balanza de precisión ( $P_h$ ).

a. Se coloca el recipiente en una estufa a 105 °C hasta lograr un peso constante, lo cual ocurrirá, según diferencias en la textura, en un lapso de 20-24 hs.

b. Se retira la muestra de la estufa y una vez enfriado, se efectúa la pesada de la muestra, obteniéndose el dato del peso seco ( $P_s$ ).

c. Se calcula el peso del agua evaporada mediante la siguiente ecuación:

$$\%Humedad = ((P_h - P_s) / P_s) \times 100$$

De ésta manera queda expresada la humedad del suelo en porcentaje, referida a suelo seco, que se interpreta como los gramos de agua contenidos en 100 gramos de suelo seco.

## Método tensiométrico

A medida que el suelo se seca, absorbe agua a través de la cerámica porosa creando una succión (un vacío parcial) dentro del tubo que es proporcional al cambio de humedad del suelo.

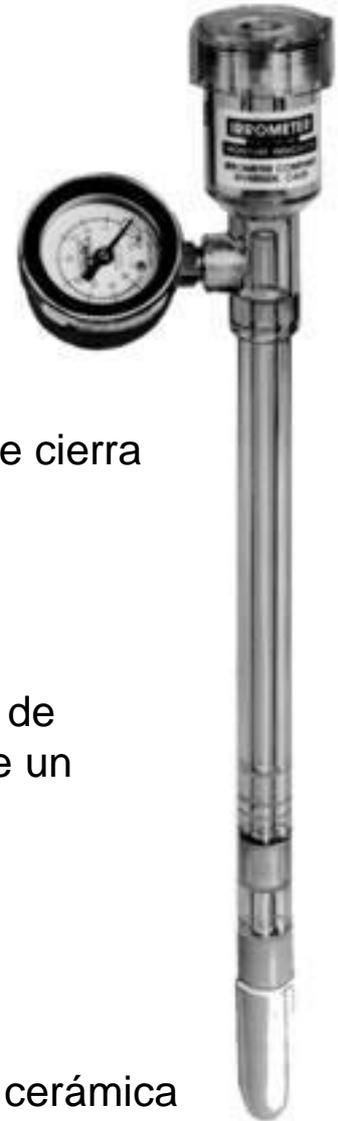
manómetro o a un vacuómetro

- Tienen una exactitud superior al 90 ó 95 %, su exactitud es especialmente superior en el rango húmedo.

El tubo se llena totalmente de agua y se cierra de forma hermética.

La longitud del tubo determina el punto de medición en el suelo, ya que se trata de un instrumento de sensado puntual

cápsula porosa, generalmente de cerámica



## Uso de tensiómetros



A medida que los cultivos son más rentables, usar métodos más precisos.

Por ejemplo los  
**Tensiómetros**

Registra las variaciones de humedad del suelo, indicándolas en unidades de presión, o centibares, que van de 0 a 85.

La lectura de cero indica que el suelo está saturado.

La lectura que señala cuándo regar, depende del suelo, del clima y del cultivo.

# Tensiómetro

- Miden un componente del potencial hídrico del sustrato:  
Potencial mátrico  $\Psi_m$ :

registra un valor de 0.33 atmósferas, su valor en términos de potencial hídrico será de -0.33 *bars* o -0.033 Mpa.

Lo anterior considerando que 1 atmósfera equivale a 1.013 *bars* o a 0.1013 MPa.

**Ventajas:** evita gasto de agua



- Método de reflectometría de dominios magnéticos de tiempo (TDR)
- Los sensores TDR
- **miden la constante dieléctrica del suelo afectado versus el valor dieléctrico del agua líquida (100% de contenido de humedad) y la arena completamente seca.**

Método por atenuación de rayos gamma

## Pistola infrarroja y bomba de Scholander



Existen otros métodos más exactos para determinar la falta de agua a través de la planta. Estos requieren de instrumentos como la pistola infrarroja, observada en la parte superior, en la mano y la bomba de Scholander, que se muestra en la parte inferior de esta imagen.

También la humedad del suelo se puede determinar, por diferencia de peso. Una vez tomadas las muestras, se pesan y luego se someten al calor de una estufa a  $105^{\circ}\text{C}$  por 24 horas.

# Método de la olla de presión para determinar el porcentaje de humedad



$$\% \text{ Húm} = \frac{\text{PSH} - \text{PSS}}{\text{PSS}} (100)$$

Donde:

% Húm, Porcentaje de humedad

PSH, Peso de suelo húmedo

PSS, Peso de suelo seco

# Método gravimétrico

- Dimensiones del terreno a evaluar, selección del área de 1 m por 1 m,
- se aísla con plástico hasta 30 cm de profundidad
- se aplica un riego saturante hasta inundar,
- se cubre con polietileno u otro material aislante
- se humedece la periferia del terreno.
- Se drena el exceso de agua, se toma de muestras a los 30, 60, 90, 120 y 150 cm de profundidad
- Las muestras se pesan en húmedo y se secan al horno. 105-110°C
- Para obtener el porcentaje de humedad se aplica la fórmula correspondiente.
- Se grafica el tiempo contra los porcentajes de humedad,; cuando la gráfica no descienda habrá alcanzado el contenido de humedad del suelo a capacidad de campo

## ***La humedad del suelo***

La humedad del suelo se puede expresar **gravimétricamente o volumétricamente**. La humedad gravimétrica es la forma básica de expresar la humedad del suelo y se entiende por ella como la masa de agua contenida por unidad de masa de sólidos del suelo. Frecuentemente se expresa como un porcentaje.

*% de la humedad gravimétrica =*

donde:

*M = masa del suelo húmedo.*

*M<sub>ag</sub> = masa del agua.*

*H = humedad del suelo.*

*M<sub>S</sub> = Masa del suelo seco (secado durante 24 hs. A 110°C).*

El método de determinación de humedad por diferencia de pesada de una muestra de suelo secado a 110 °C es suficientemente aproximado a los fines de riego, pero no significa que toda el agua del suelo sea evaporada a esa temperatura, ya que no se logra liberar el agua combinada químicamente y ligada físicamente (fenómeno de adsorción). Sólo se evapora el agua móvil capilar que por otra parte es la fracción del agua del suelo utilizable por los vegetales. De todos modos se logran determinar magnitudes que se aproximan al verdadero contenido hídrico total, ya que esas aguas fuertemente retenidas no son cuantitativamente significativas.

$$pmCC = \%Hum (pss)/100 + pss \text{ donde:}$$

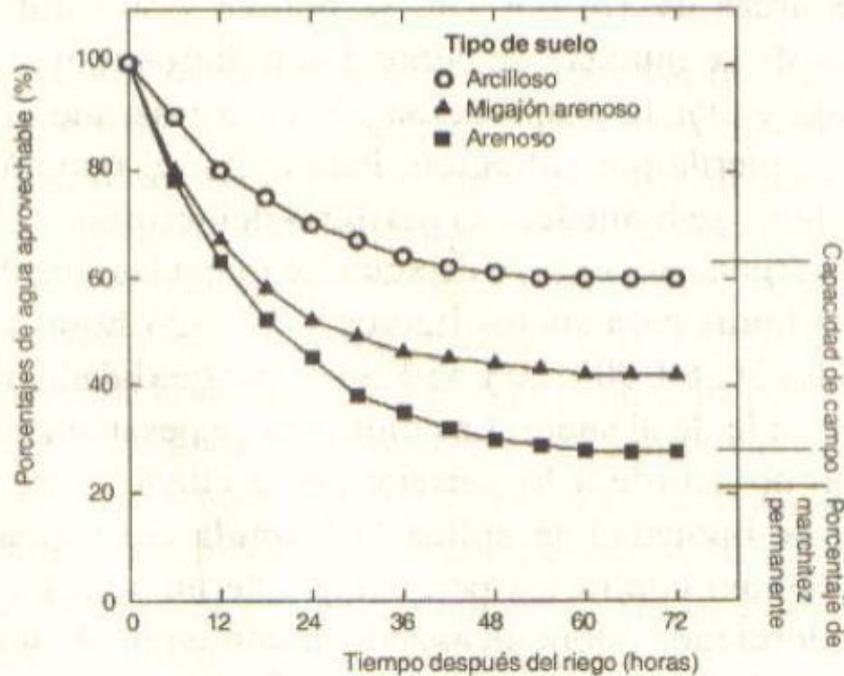


Figura 13. Curva de retención de humedad, la línea horizontal indica el porcentaje de humedad del suelo a capacidad de campo.

cuando la gráfica no descienda a 105 °C, habrá alcanzado el contenido de humedad del suelo a capacidad de campo (Aguilera, 1990).

## Ejemplo

para obtener la humedad del suelo es el siguiente:

En un terreno de cultivo se introduce una barrena de bordes afilados para obtener una muestra de suelo de 575 g, se transporta al laboratorio en bolsas de papel “de estraza” envueltas en plástico, con el fin de evitar la evaporación, se introduce al horno acorde a las especificaciones anteriores y se obtiene un peso seco de 325 g. Obtener el porcentaje de humedad para ese suelo.

Sustituyendo los valores en la fórmula tenemos:

$$\% \text{ Húm} = \frac{PSH - PSS}{PSS} (100)$$

$$\% \text{ Húm} = 575\text{g} - 325\text{g} / 325\text{g} (100)$$

$$\% \text{ Húm} = 250\text{g} / 325\text{g} (100)$$

$$\% \text{ Húm} = 0.769 (100)$$

$$\% \text{ Húm} = 76.9$$

El método gravimétrico puede emplearse también en substrato contenido en macetas

Con los valores de PSH y PSS se calcula el porcentaje de humedad que corresponde a la capacidad de campo.

El valor obtenido se utiliza para calcular el peso de las macetas o unidades experimentales (ue) a capacidad de campo a partir del peso de suelo seco, para lo cual empleamos la siguiente ecuación:

$pmCC = \%Húm (PSS)/100 + PSS$  Donde:

pmCC, Peso de las macetas a capacidad de campo.

Ejemplo:

Consideremos 3350 g de substrato arenoso (PSS) cuyo porcentaje de humedad a CC es de 25.7g, para conocer el peso final de la unidad experimental a 100% de HA, sustituimos en la ecuación anterior:

$$pm_{CC} = \frac{\%Húm(PSS)}{100} + PSS$$

$$ue_{CC} = 25.7(3350g)/100 + 3350 \text{ g}$$

$$ue_{CC} = 860.95g + 3350 \text{ g}$$

$$ue_{CC} = 4210.95 \text{ g}$$

El peso de la maceta a CC será de 4210.92 g, lo cual significa que se agregarán 860.95 g de agua al suelo para tenerlo al 100% de humedad aprovechable.

Para calcular el punto de marchitamiento permanente (PMP), retomamos el concepto propuesto por Aguilera (1990),

El PMP: puede calcularse dividiendo la cantidad de agua agregada para llegar a CC, entre 2.0, 2.1 o 2.2 para texturas arcillosas, medias y arenosas respectivamente

fórmula para calcular el peso  
de las macetas en el PMP  
el caso de un suelo arenoso

$$uePMP = \text{cantidad de agua agregada para llegar a CC} / 2.2 + PSS$$

**Texturas: 2.0, arcillas**  
**2.1, medias**  
**2.2, arenosas**

Sustituyendo valores, en nuestro ejemplo anterior, tendríamos:

$$\text{pmPMP} = 860.95/2.2 + 3350\text{g} \quad \text{pmPMP} = 391.34 + 3350\text{g}$$

$$\text{pmPMP} = 3741.34\text{g}$$

De esta forma manera, el peso de las macetas a PMP equivale a 3741.34 g.

Para el caso de un suelo arenoso:

**uePMP= cantidad de agua agregada para llegar a CC / 2.2 + PSS**

Sustituyendo valores, en nuestro ejemplo, tendríamos:

$$\begin{aligned} \text{uePMP} &= 860.95/2.2 + 3350\text{g} & \text{uePMP} &= 391.34 + 3350\text{g} \\ \text{uePMP} &= 3741.34\text{g} \end{aligned}$$

De esta manera, el peso de las macetas a PMP equivale a 3741.34 g

Si recordamos que la cantidad de suelo seco inicial es de 3350 g, al obtener la diferencia  $3741.34 - 3350$ , obtendríamos la cantidad de agua mátrica o higroscópica retenida por las partículas de suelo es decir:

$$3741.34 - 3350 = 391.34$$

Peso de la maceta en PMP-PSS = agua mátrica

Lo anterior significa que en una maceta de 3350 g de suelo en PMP existen **391.34 g de agua mátrica retenida**.

**Para obtener la cantidad de agua capilar** (Humedad aprovechable o agua disponible para la planta), calculamos la diferencia entre el peso de las macetas a capacidad de campo (ueCC) y en el punto de marchitamiento permanente (uePMP), como se indica a continuación.

$$\text{Agua Capilar} = \text{ueCC} - \text{uePMP}$$

$$\text{Agua Capilar} = 4210.95\text{g} - 3741.34\text{g} \quad \text{Agua capilar} = 469\text{g}$$

Agua Capilar= 4210.95g - 3741.34 g Agua capilar= 469 g

Agua capilar o 100% de húmedad aprovechable equivale a 469g.

Calculando el peso de las macetas al 20% de HA

469g- - - - - - - - - -100%

X - - - - - - - - - -20% = 93.8g + PSS ( 3741.34g)

= 3835.14g

## Problema

En un terreno dedicado al cultivo de plantas anuales, se hace un análisis de humedad del suelo para lo cual, se extrae una muestra de 350 gramos a capacidad de campo (100% de HA); se seca al horno a 105°C durante 24 hrs. obteniéndose un peso de 275 gr. Con estos datos calcule el porcentaje de humedad del suelo.

Utilizando como referencia el porcentaje de humedad obtenido en el ejercicio anterior y macetas con 750 gr de suelo seco, calcule su peso a:

- a) capacidad de campo y en el punto de marchitamiento permanente.
- b) 20% de humedad aprovechable
- c) 75% de humedad aprovechable