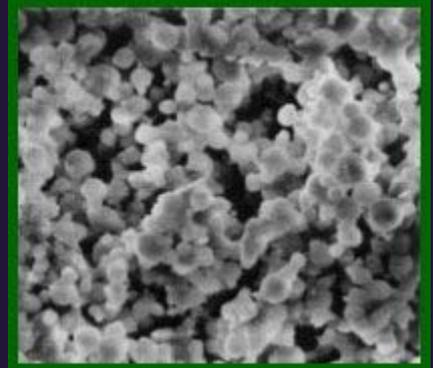


# El medio poroso: fase sólida

M. Sc. Rolando Mora Ch.

Escuela Centroamericana de Geología



# I. Introducción

## Rocas:

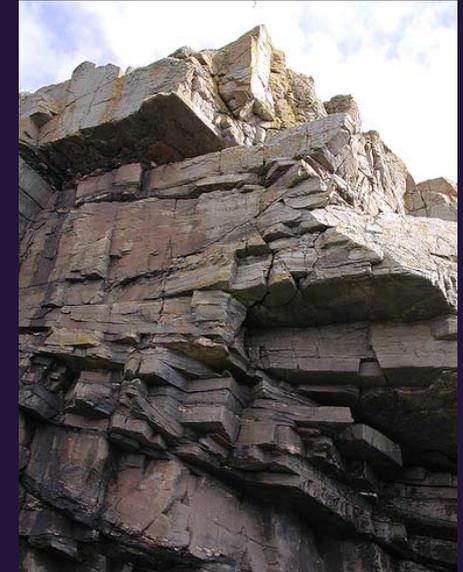
- Agregados de uno o más minerales
- Su naturaleza y proporción determinan las características de todo el material

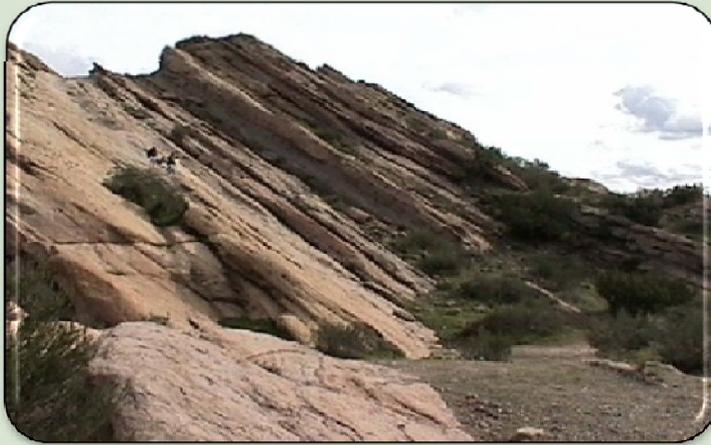




De acuerdo con su génesis e historia geológica se definen tres tipos de rocas: ígneas, sedimentarias y metamórficas

- Rocas ígneas:
  - Formadas por la solidificación de magma
  - De baja porosidad y permeabilidad
  - Fracturadas con permeabilidad controlada por la geometría de los sistemas de discontinuidades





## Rocas sedimentarias:

- Formadas luego de procesos de desagregación, meteorización y consolidación de fragmentos de rocas preexistentes



## Rocas metamórficas:

- Formadas a partir de rocas preexistentes por procesos de incremento de temperatura y presión



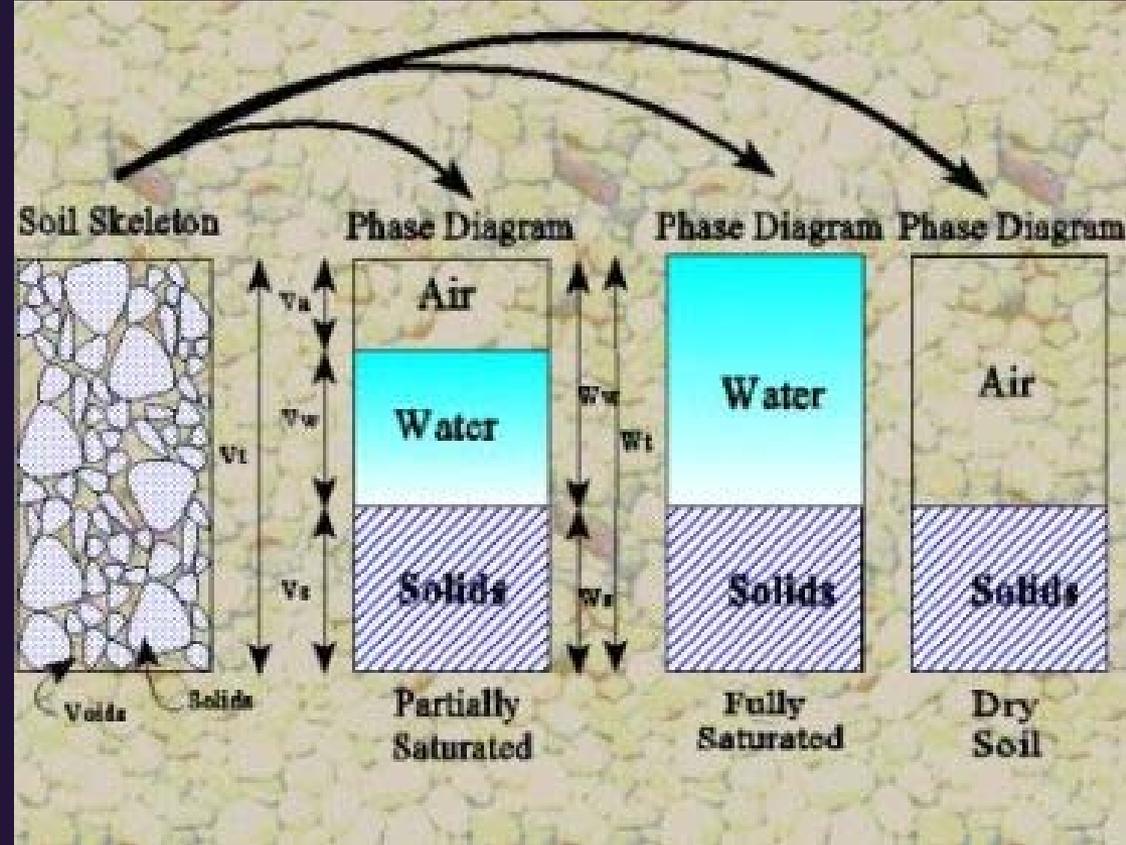
Medio  
poroso:

Compuesto por tres fases

Fase sólida: esqueleto mineral

Fase líquida: agua,  
solutos disueltos

Fase gaseosa: aire y vapor que ocupa los poros de suelos secos o parcialmente saturados



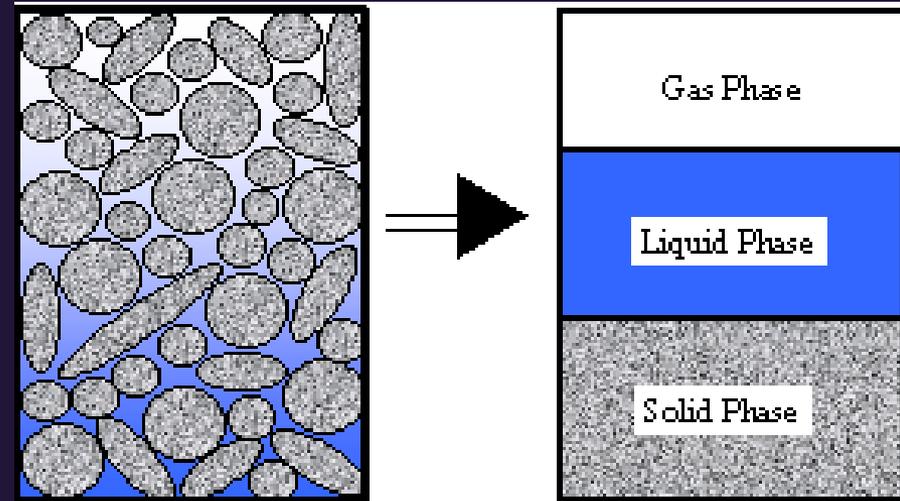
## 2. Génesis y estructura de la fase sólida

Fase sólida de los suelos:

Acumulación de partículas minerales

Provenientes de la meteorización de la roca parental

Los espacios vacíos entre partículas contienen agua o aire



# Formación de suelos a partir de una roca existente:

Acción de varios procesos destructivos

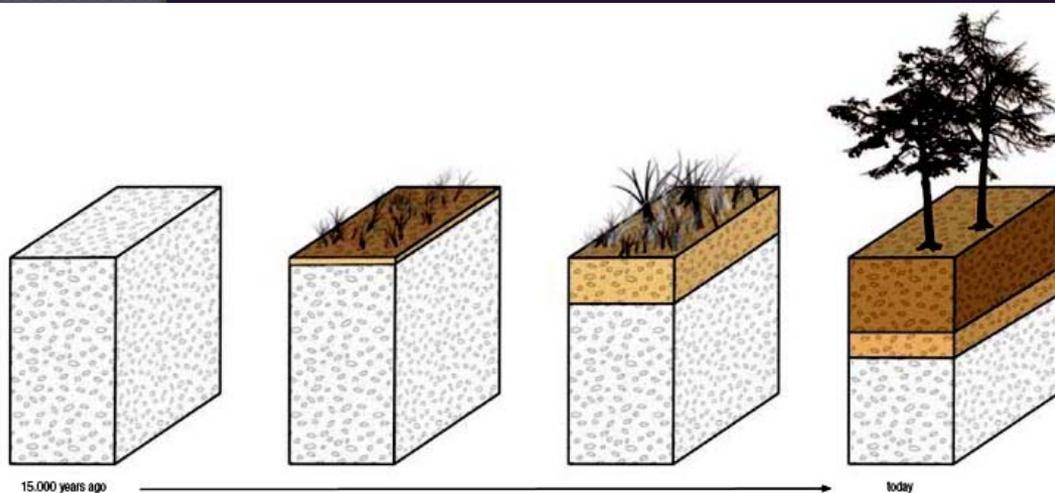
Físicos, químicos y biológicos

Se basa en la diferente estabilidad de los minerales constituyentes bajo las condiciones atmosféricas

Baja temperatura

Baja presión

Contenido de humedad alto



15.000 years ago

today



ESCUELA  
CENTROAMERICANA  
DE GEOLOGÍA

# Procesos físicos destructivos



Acción erosiva del viento, agua o glaciares

Desintegración:

- Ciclos de congelamiento y descongelamiento

Resultado:

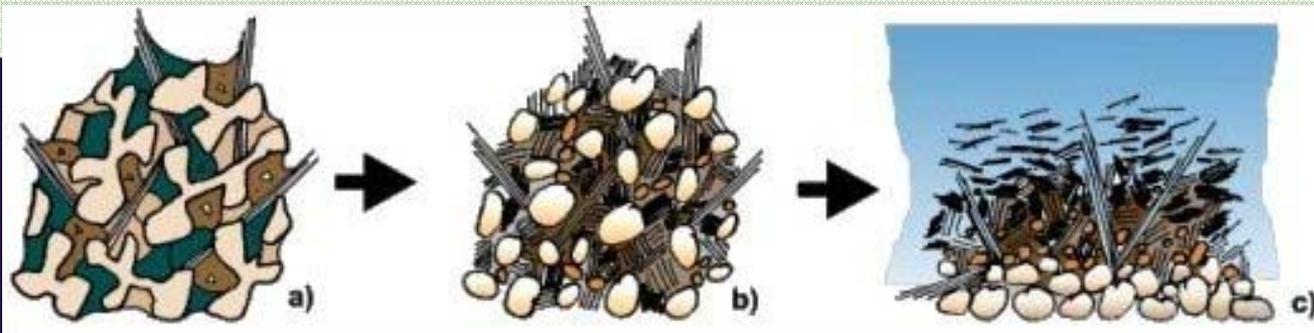
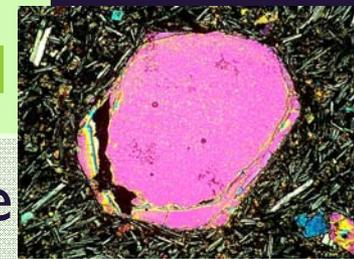
- Partículas con la misma composición que la roca parental
- Estructura granular: susceptible a transformaciones químicas



# Procesos químicos destructivos

Cambios importantes en la estructura mineral de la roca parental

- Mineral más inestable: el de mayor temperatura de cristalización (olivino)
- Mineral más estable el de menor temperatura de cristalización (cuarzo)
- Se forman partícula coloidales ( $< 0.002$  mm)
  - Minerales secundarios (arcillosos)
    - Intercalados entre los minerales no descompuestos



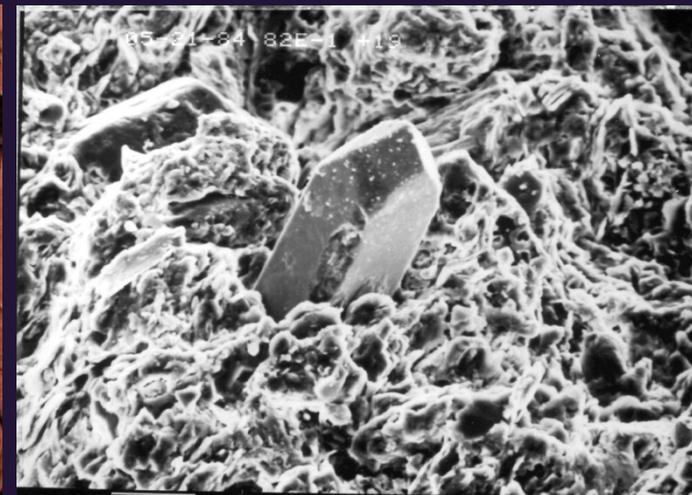
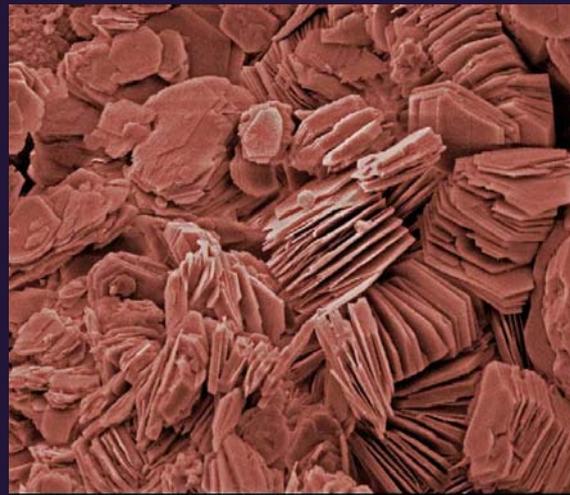
# Minerales arcillosos

De formas  
diferentes:

- Barras, láminas y hojuelas

Superficie  
específica

- $S_{sp} = A/V$
- Caolinita: 10-70  $\text{cm}^2/\text{cm}^3$
- Montmorrillonita: 500-1500  $\text{cm}^2/\text{cm}^3$

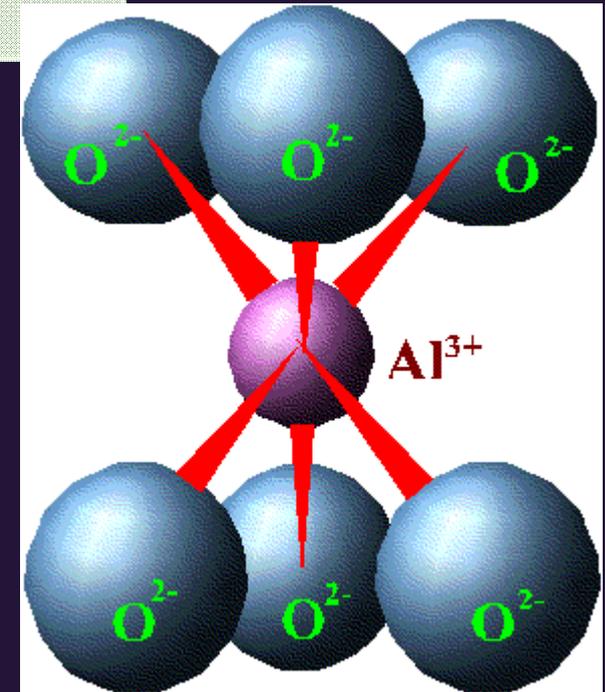


# Minerales arcillosos:

## Silicatos

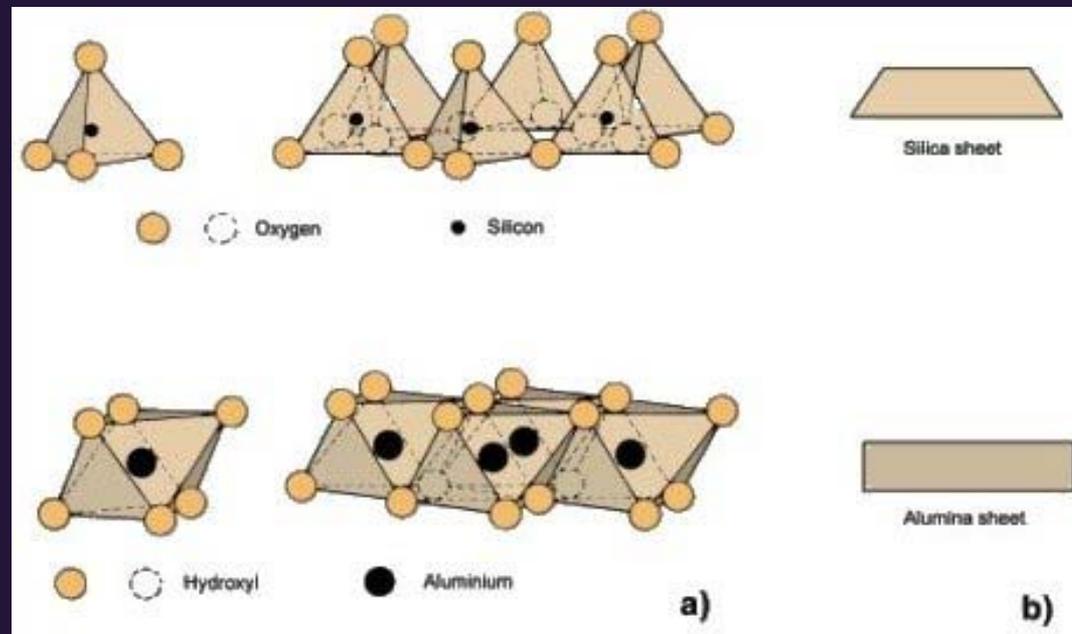
### Unidades estructurales básicas:

- Tetraedro de silicio
- Octaedro de aluminio



# Las unidades básicas se combinan para formar estructuras laminares

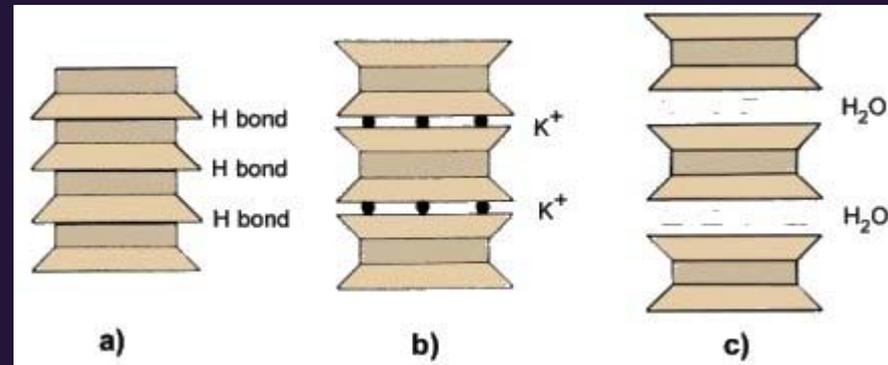
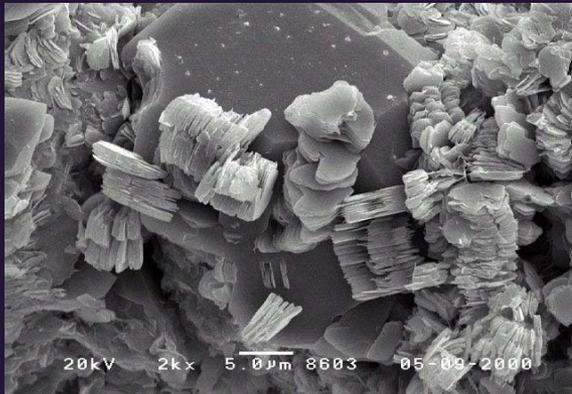
- Con muchas cargas eléctricas sin balancear
- Cationes y dipolos de agua pueden balancear estas cargas
- Se crean enlaces
- Se unen las estructuras laminares



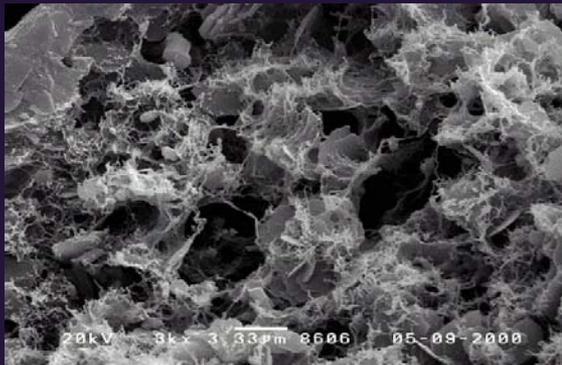
## Minerales arcillosos

- Agrupación de combinaciones de estructuras laminares
- Con diferentes formas de enlaces entre las láminas combinadas

### Caolinita



### Illita



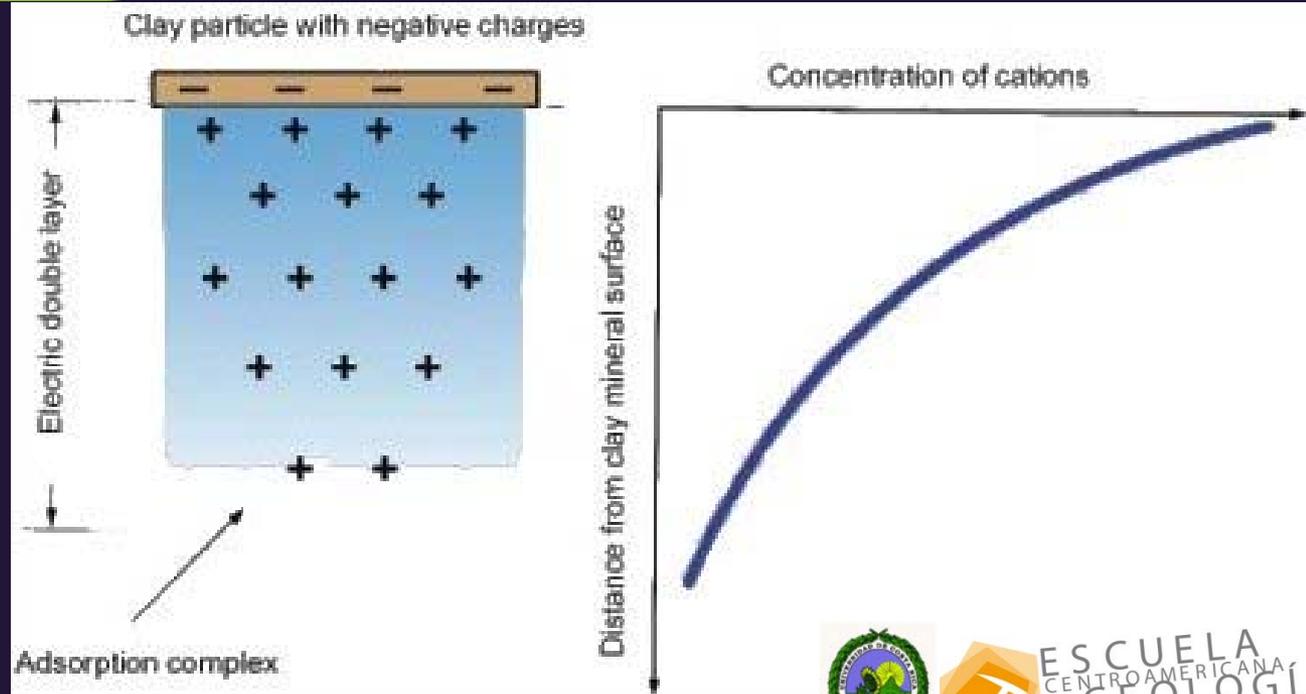
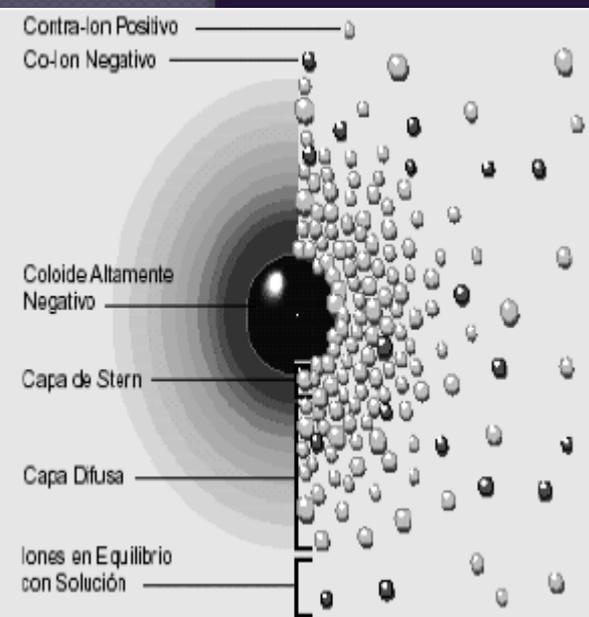
### Montmorillonita



# Complejo de adsorción

Capa superficial que rodea la superficie de las partículas arcillosas:

- Las cargas eléctricas negativas no balanceadas atraen los dipolos de agua y cationes

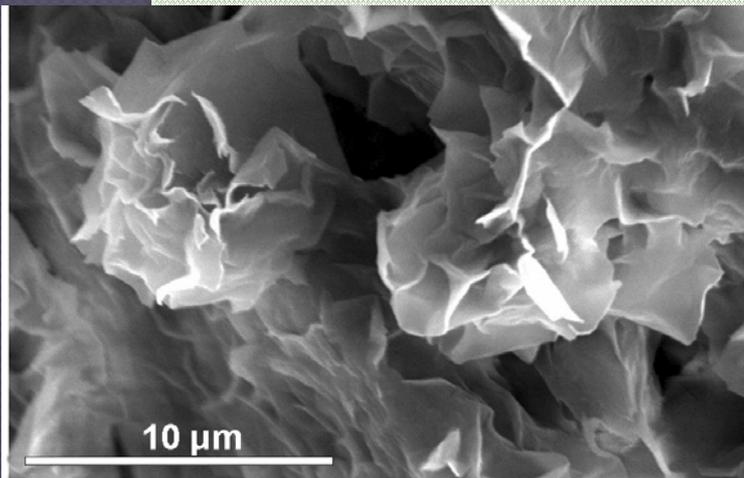


# La estructura particular de los minerales arcillosos y las cargas eléctricas no balanceadas en su superficie:

- Le confieren una gran actividad con respecto al agua
- Y propiedades particulares como:
  - Cohesión
  - Succión matricial
  - Baja permeabilidad
  - Comportamiento expansivo-contractivo



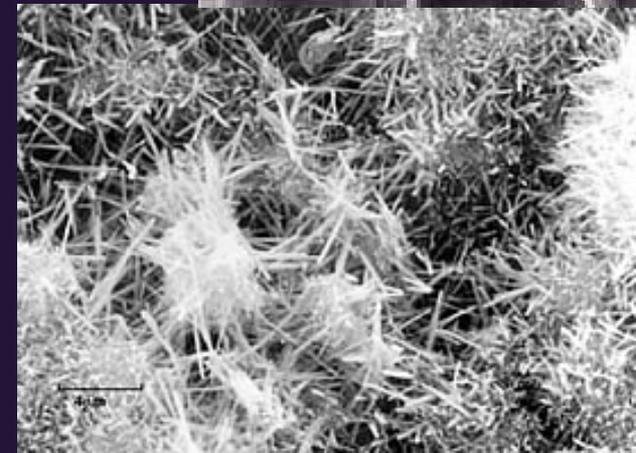
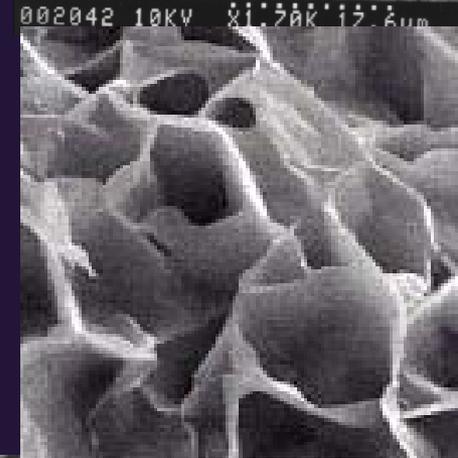
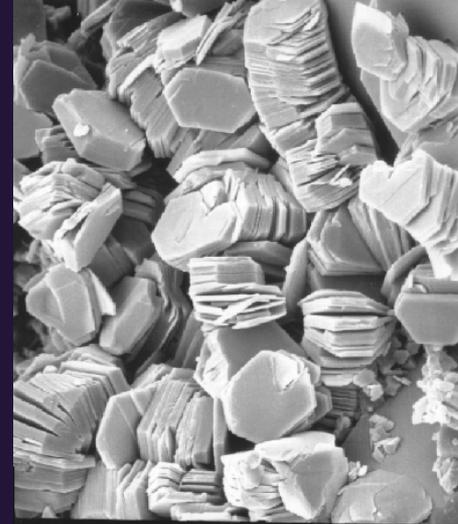
ESCUELA  
CENTROAMERICANA  
DE GEOLOGÍA



# Minerales arcillosos más comunes

Conforme el tamaño de las partículas decrece:

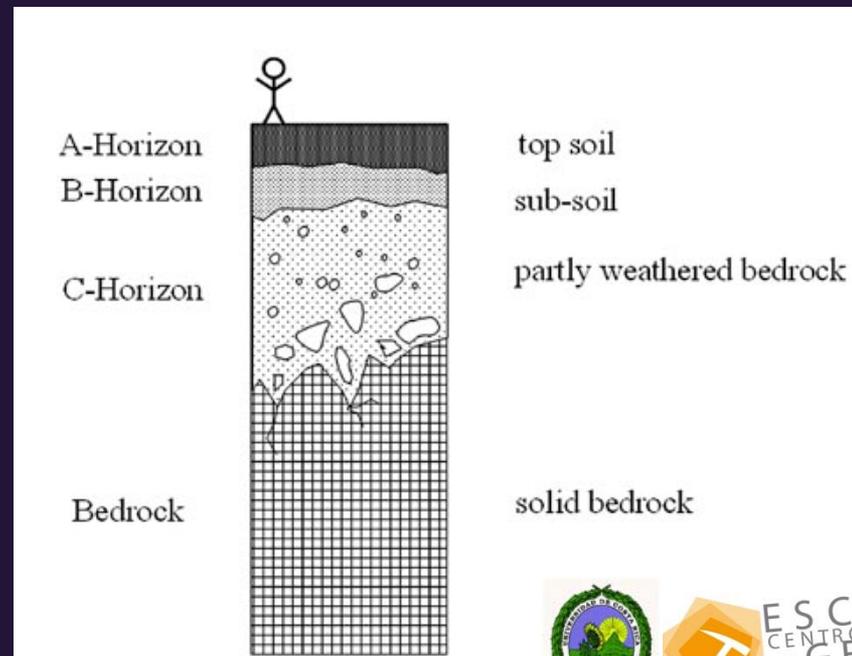
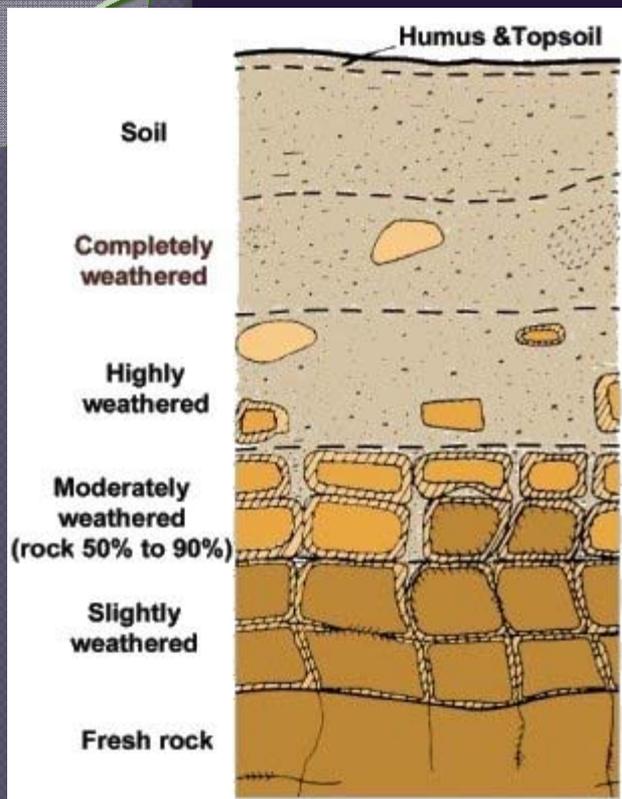
- El volumen de espacio poroso se incrementa
  - El complejo de absorción ocupa una parte muy importante de este volumen
  - Esto explica la baja permeabilidad de las arcillas



# Suelo residual

Los productos de la meteorización química se mantienen en el sitio donde se forman

- En el trópico el proceso es rápido y efectivo

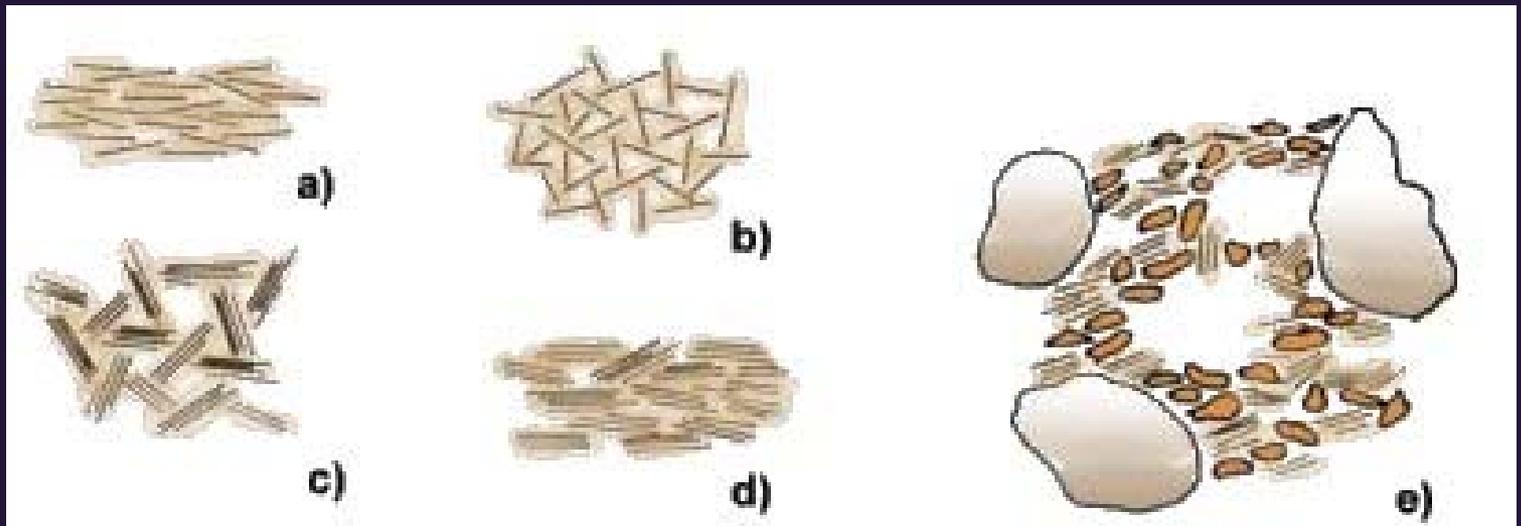


# Estructuras de los suelos de grano fino

Generadas por las fuerzas de atracción y repulsión entre las partículas durante su formación

Dispersa

Floculada



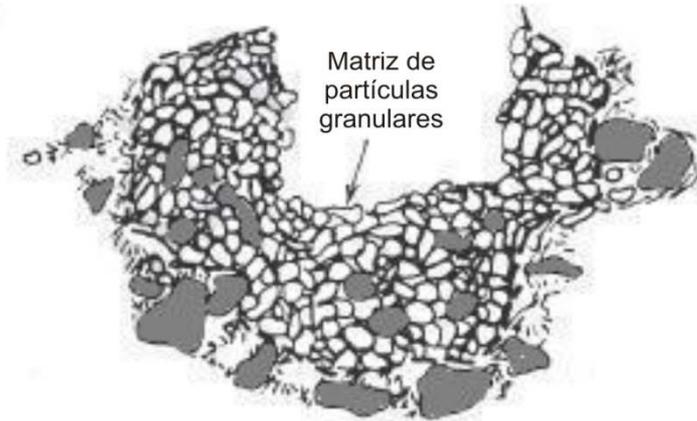
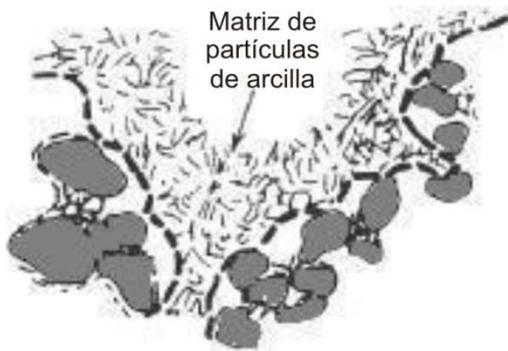
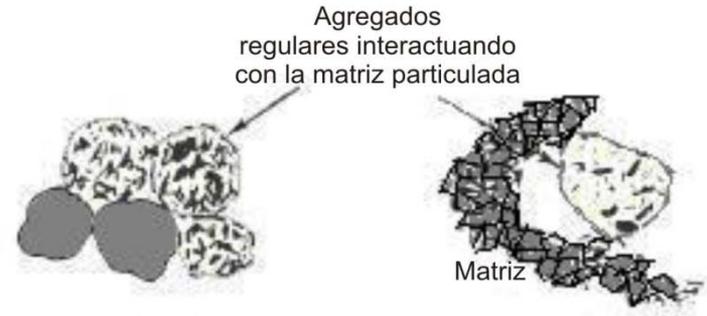
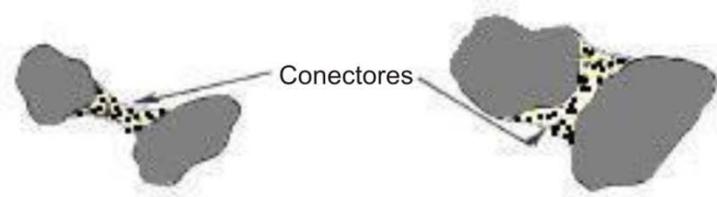
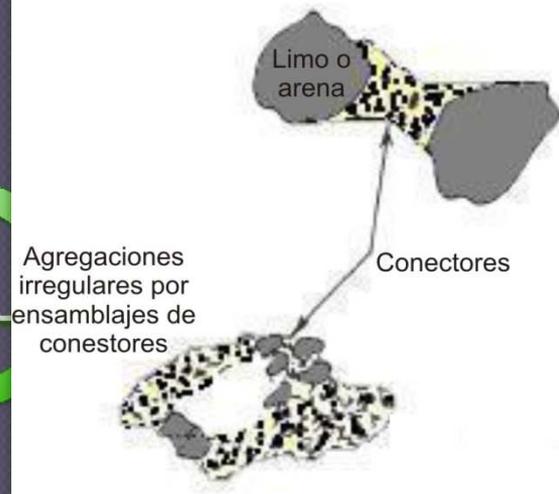
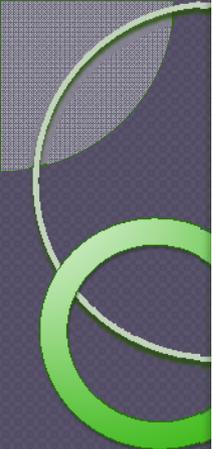
Castillo de naipes

Turbostrática

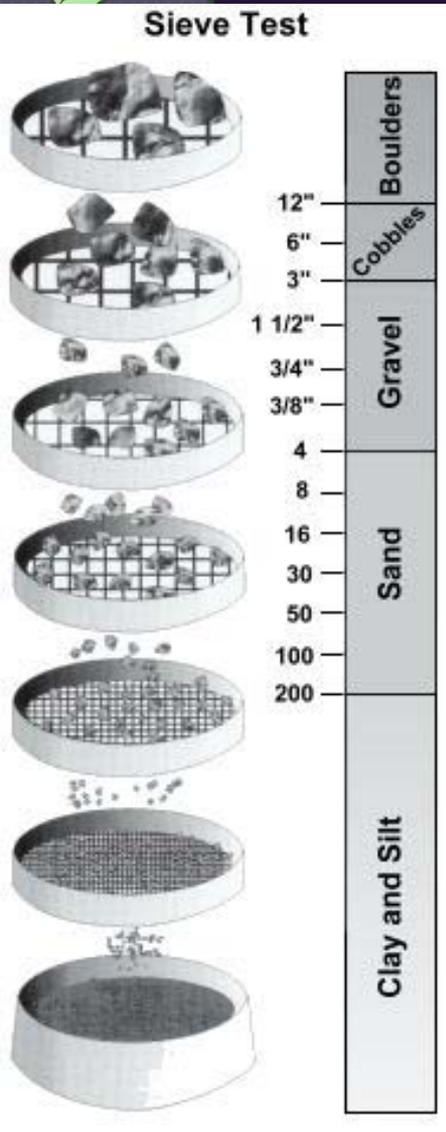
Estructura natural: combinación de estructuras básicas con partículas de limo y arena



ESCUELA  
CENTROAMERICANA  
DE GEOLOGÍA



# 3. Análisis del tamaño de partícula



Rango de tamaños de grano resultante de la meteorización:

Las propiedades mecánicas e hidráulicas dependen del tamaño de las partículas

- Algunos  $\mu\text{m}$  a casi 1 m

- Se torna indispensable el análisis del tamaño de las partículas



# Análisis granulométrico:

- Porcentaje por peso de las diferentes fracciones
- Curva granulométrica

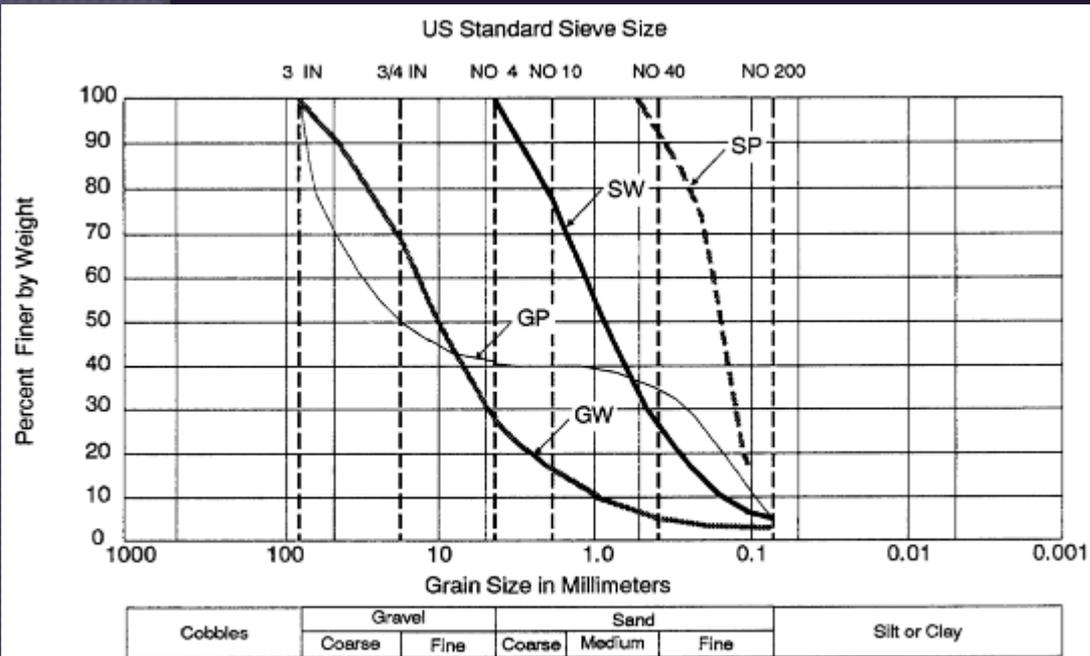


Figure 4-9. Typical grain-size distribution curves for well-graded and poorly graded soils.



# Coeficiente de uniformidad

- $C_u = D_{60}/D_{10}$
- Inverso de la pendiente de la curva en su parte central
- $C_u$  alto:
  - Rango amplio de tamaños, suelo bien gradado
- $C_u$  bajo:  $< 4$ 
  - Suelo uniforme

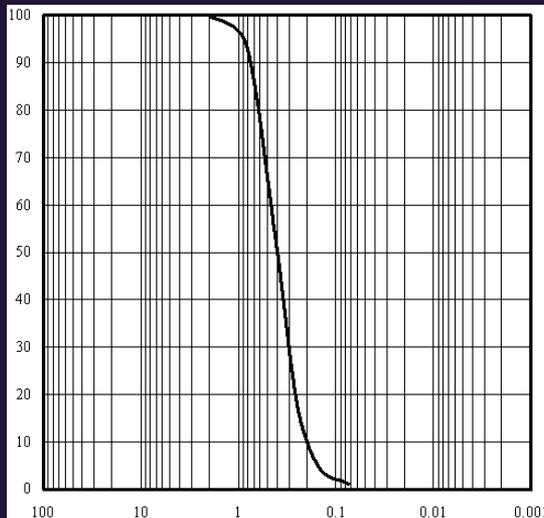


Figure 1. Well Graded

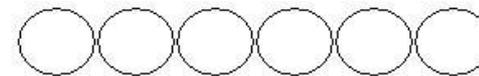


Figure 2. Uniformly-Graded



Figure 3. Gap-Graded

# Coeficiente de concavidad:

- Describe la forma general de la curva
- $C_c$  entre 1 y 3:
  - Suelo bien gradado
  - Fuera de este rango: suelo pobremente gradado

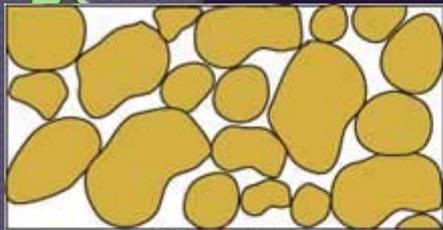
$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} D_{10}}$$



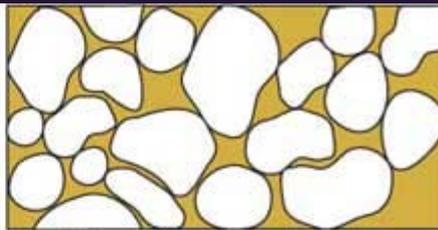
# 4. Porosidad: efectiva y residual

Comportamiento  
hidráulico y propiedades  
mecánicas del medio  
poroso

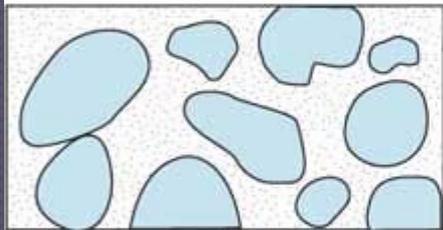
- Son controladas por:
  - Tamaño, forma y distribución de los poros
  - Formas de comunicación entre poros
- Conductividad, deformación, anisotropía, etc.



Gravel  
well sorted, high porosity



Gravel - Sand - Clay  
poorly sorted, low porosity



Cemented Sandstone  
low porosity



Clay  
high porosity



Limestone  
low porosity



Shale  
low porosity

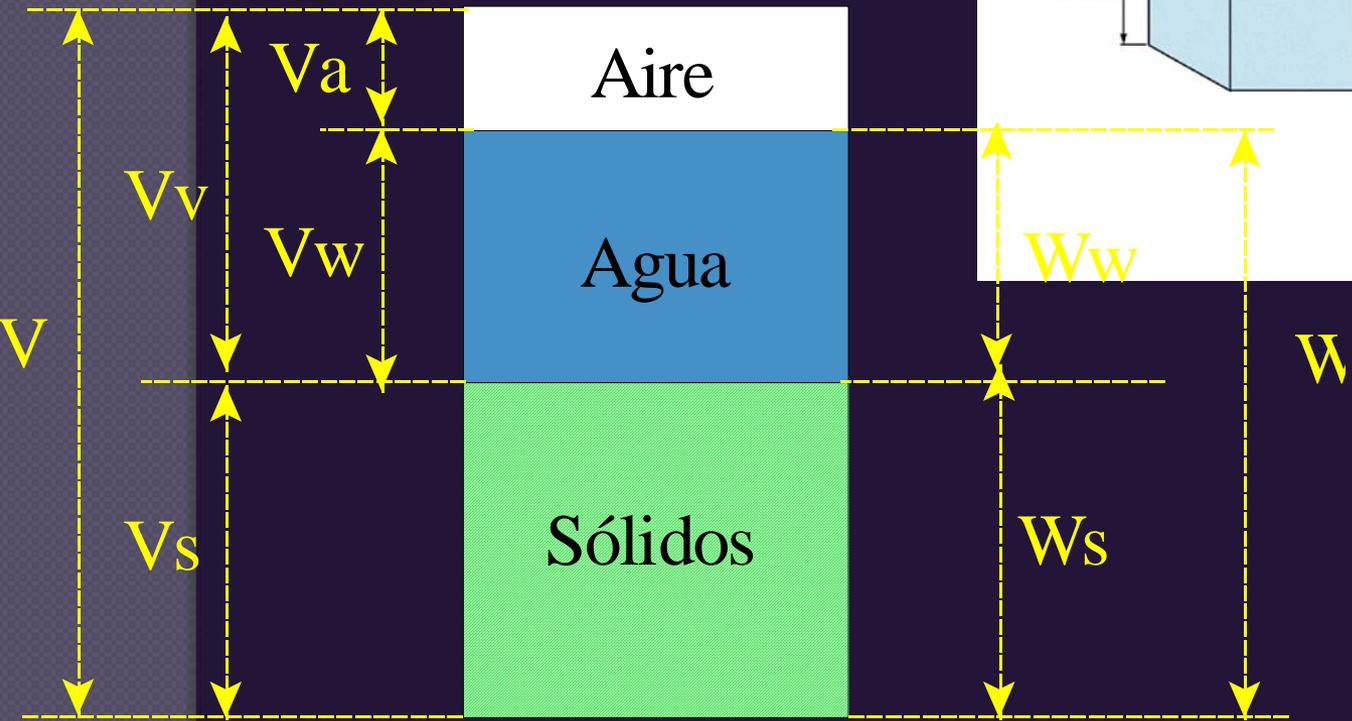
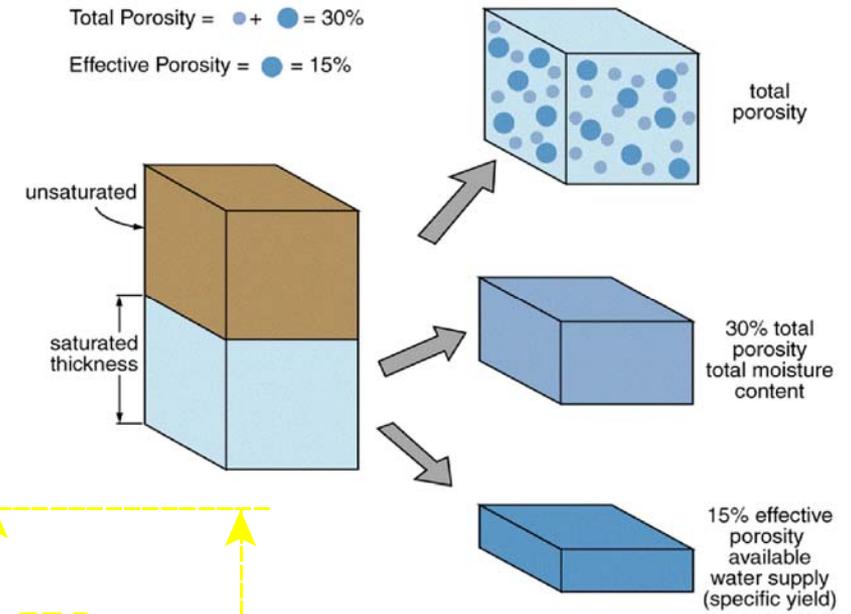


# Porosidad

$$n = \frac{V_v}{V} = \frac{V_v}{V_s + V_v}$$

## Porosidad efectiva y porosidad residual

$$n = \frac{V_v}{V} = \frac{V_e + V_r}{V} = n_e + n_r$$



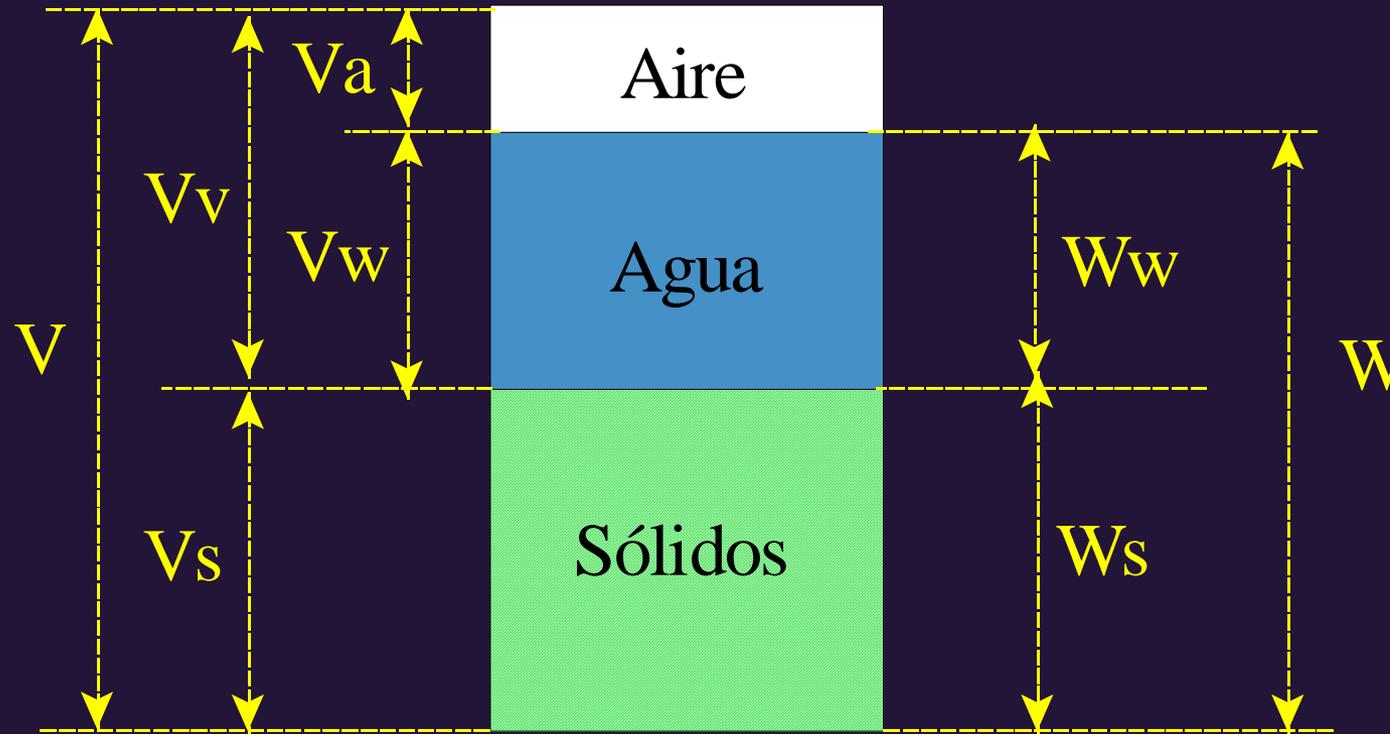
# Relación de vacíos (e)

- Grado de saturación:
  - $S_r = V_w / V_v$

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

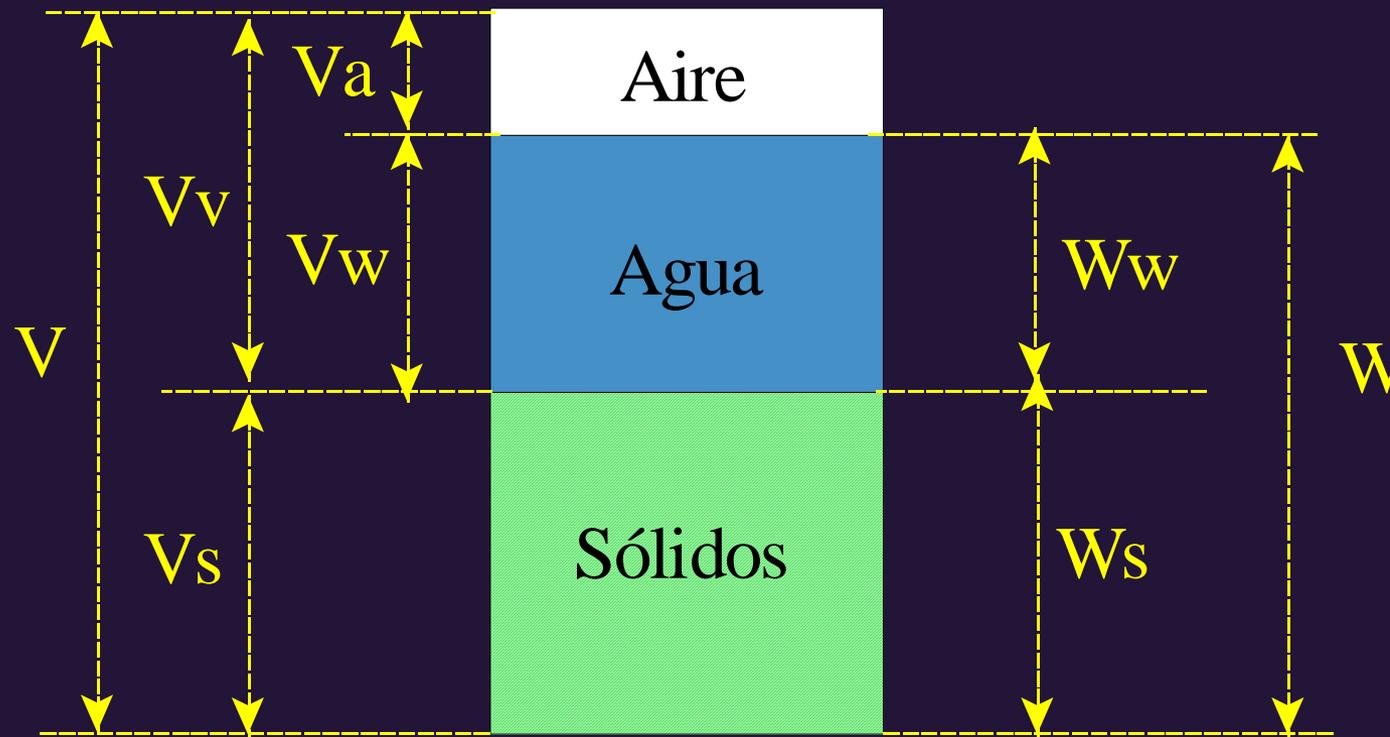
$$n = \frac{e}{1 + e}$$

$$e = \frac{n}{1 - n}$$



# Relaciones de peso:

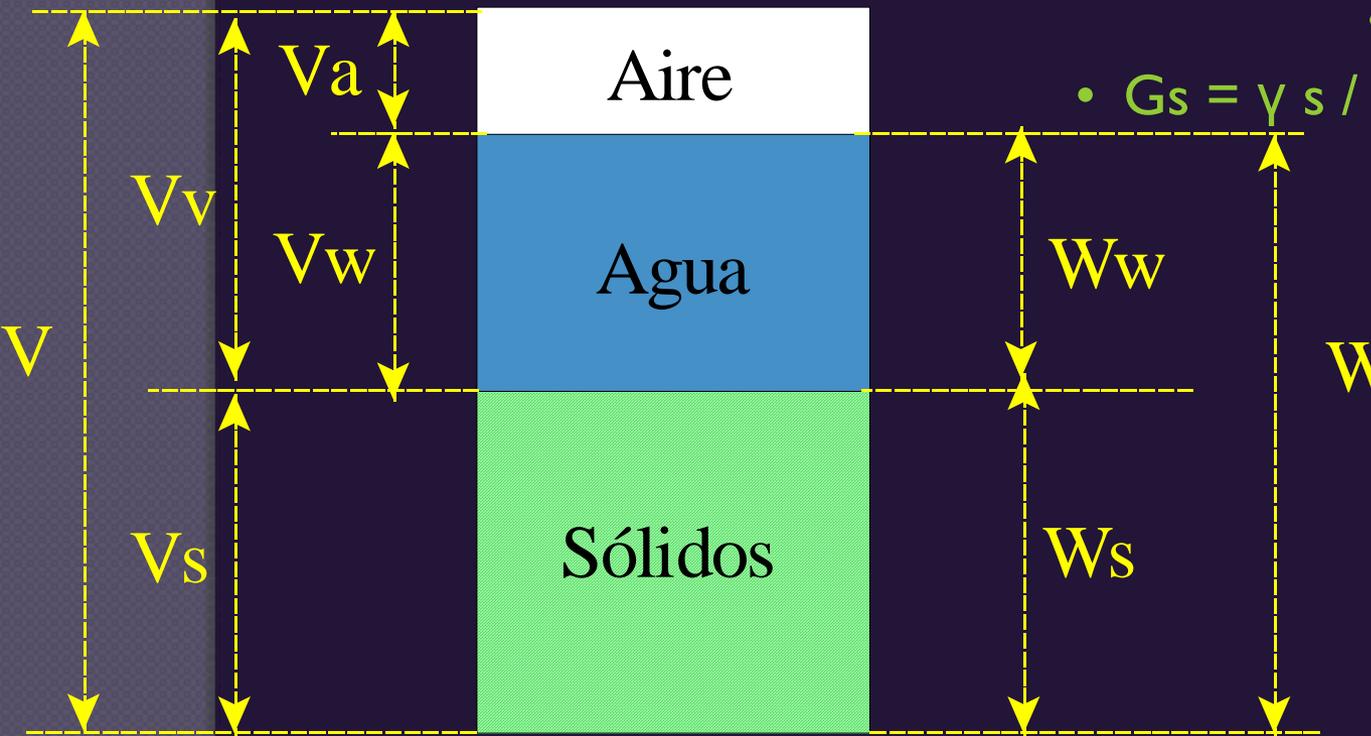
- Contenido de humedad:
  - $w = W_w / W_s$
  - Se expresa como porcentaje



## Relaciones peso-volumen:



- Peso unitario total:
  - $\gamma = W / V$
- Peso unitario saturado:
  - Peso unitario seco:
    - $\gamma_d = W_s / V$
- Peso unitario sumergido:
  - $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$
- Se emplea cuando el suelo se encuentra bajo el nivel freático
- Gravedad específica:
  - $G_s = \gamma_s / \gamma_w = W_s / (V_s * \gamma_w)$



## Relaciones suplementarias:

- $n = e / (1 + e)$
- $e = n / (1 - n)$
- $G^*w = Sr^*e$
- $W = Ws (1 + w)$