

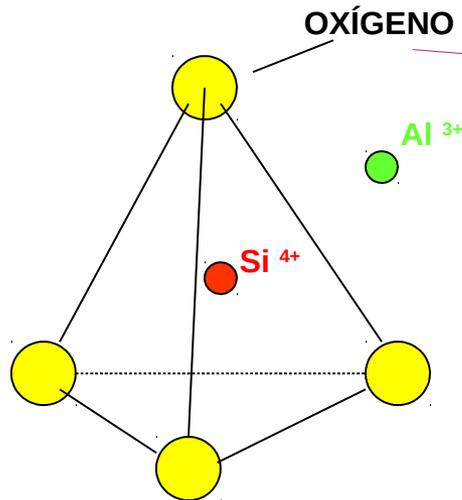
**Sustitución isomórfica:** Ocurre durante la formación de los minerales. Un elemento componente del mineral es reemplazado por otro elemento que presenta la ***misma forma (radio iónico), pero diferente carga***. Generalmente Si es substituido por Al.

En capas tetraédricas:  $\text{Si}^{4+}$  es reemplazado por  $\text{Al}^{3+}$

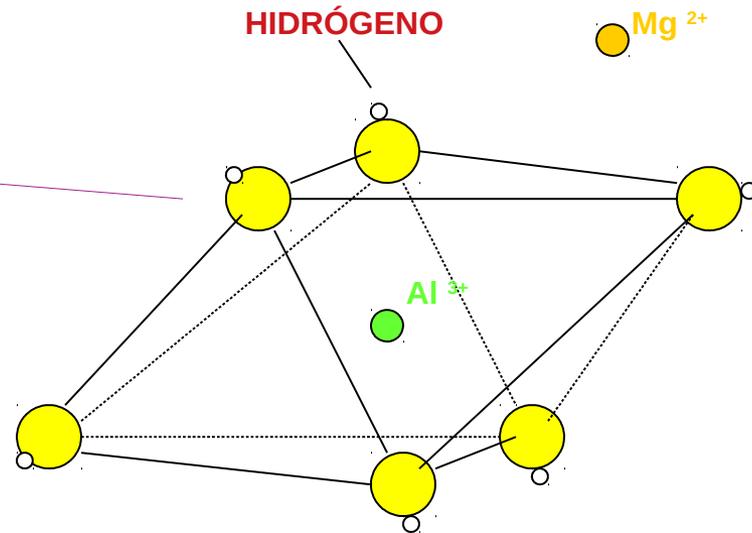
En capas octaédricas:  $\text{Al}^{3+}$  es reemplazado por  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$

Estos reemplazos **conlleven a que las capas tengan una carga neta negativa**. Esta carga negativa es balanceada por cationes localizados en la superficie de las capas o en posiciones entre capas.

# Sustitución isomórfica:



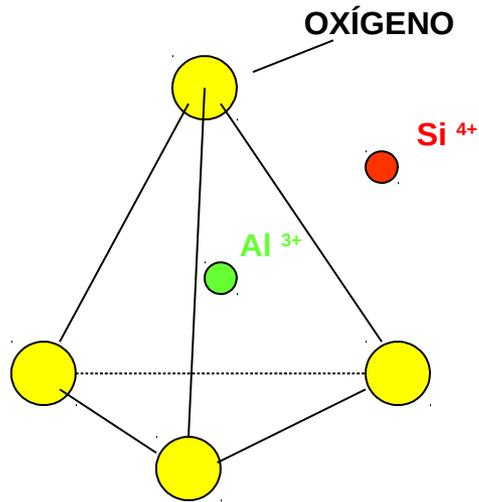
**Tetraedro de Si**



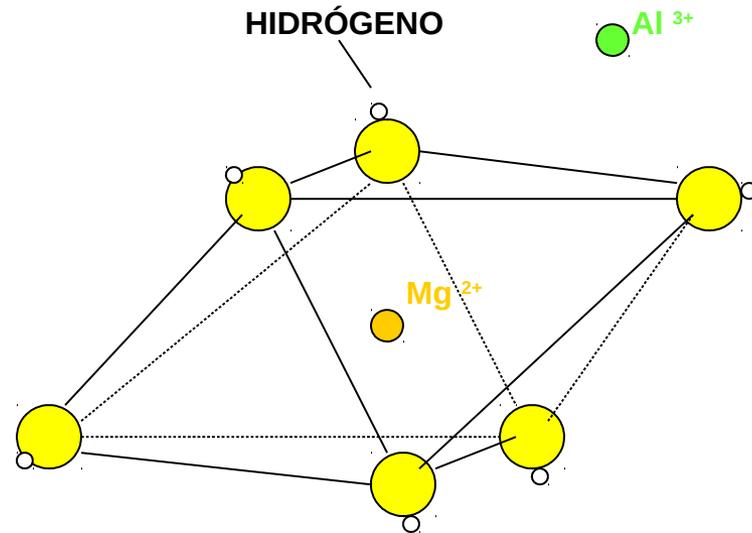
**Octaedro de Al**

Recordar que estas son las dos estructuras básicas que componen a las arcillas silicatadas. Estas estructuras minerales básicas se unen unas a otras al compartir los oxígenos. En este sentido, láminas de tetrahedros se unen a láminas de octahedros para formar las capas, ya sea del tipo 1:1, 2:1 o 2:1.:1. El proceso de sustitución isomórfica ocurre paralelamente durante la conformación de las capas.

# Sustitución isomórfica:



**Tetrahedro de Si**



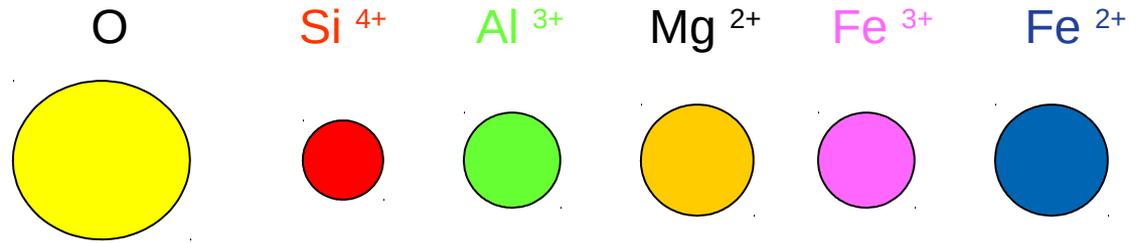
**Octahedro de Al**

La sustitución ocurre durante la formación de las arcillas silicatadas laminares, en las capas tetraédricas u octaédricas.

La sustitución es limitada y gobernada por el radio atómico del ión. El ión entrante altera mínimamente la estructura original.

Dependiendo del número de sustituciones y dónde se efectúe (capas tetrahédricas u octahédricas) se tendrán diferentes tipos de arcillas

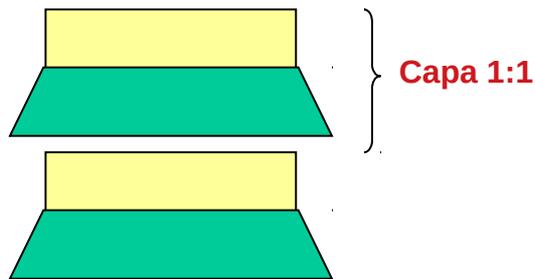
Comparen en esta gráfica los diferentes tamaños de los átomos.



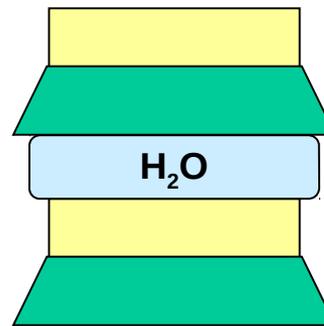
<b>Radio iónico (nm)</b>	0.140	0.041	0.050	0.065	0.060	0.075
--------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Dentro de los minerales de la fracción arcilla silicatados y que conforman láminas o capas hemos visto, hasta ahora, dos tipos de organización de las capas:

**1. Combinación de una lámina de tetrahedros de Si y una lámina de octahedros de Al (Mineral del tipo 1:1)**



Caolinita



Haloisita

*Los minerales del tipo 1:1 se les conoce como el grupo de las **Kanditas**.*

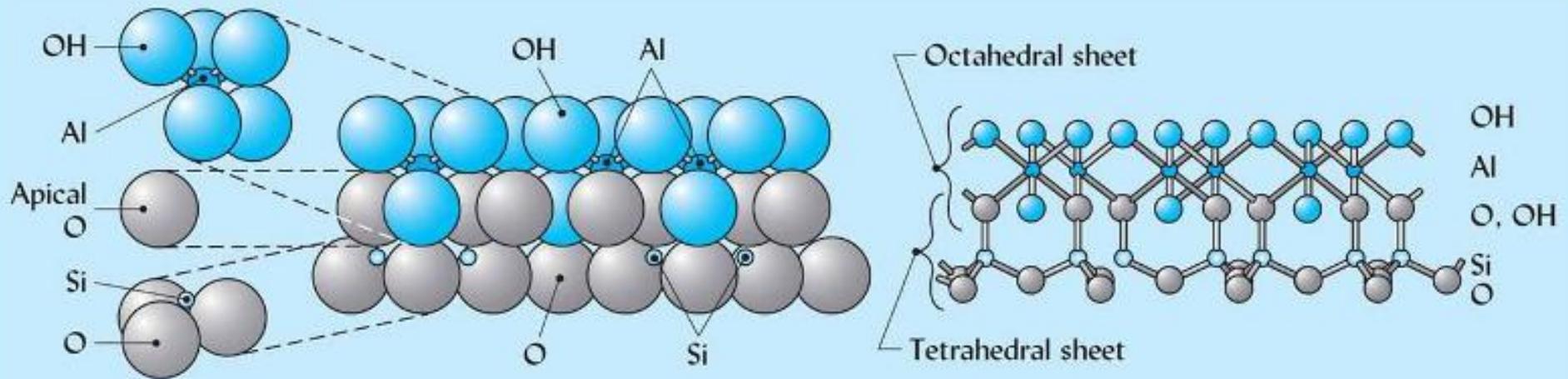


Diagrama más complejo de una caolinita. Nótese cómo se comparten los oxígenos entre las láminas octahédricas y tetrahédricas.

Características principales del grupo de las kanditas:

Poca sustitución isomórfica. Por lo tanto con muy poca carga.

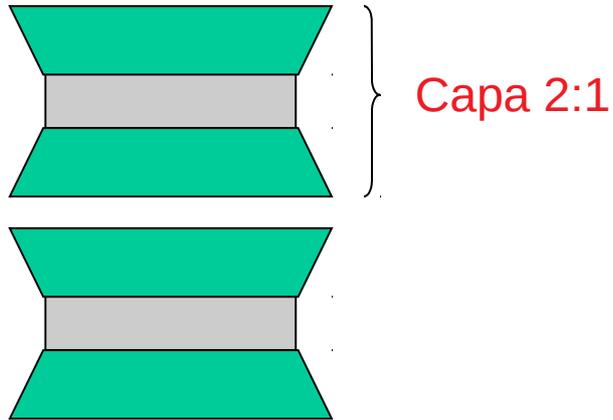
Presencia de puentes de hidrógeno entre las capas 1:1.

Muy poca contracción y expansión de las capas.

Muy poco reactiva (Por ejemplo la caolinita es utilizada en la industria de la porcelana y como sustituto de la crema en el café!!).



## 2. Combinación de dos láminas de tetrahedros de Si y una lámina de octahedros de Al (Mineral del tipo 2:1)



*Hay tres grupos principales de minerales del tipo 2:1  
La **esmectitas**, las **vermiculitas** y las **illitas**.*

## ***Esmectitas:***

### **Características principales de las esmectitas:**

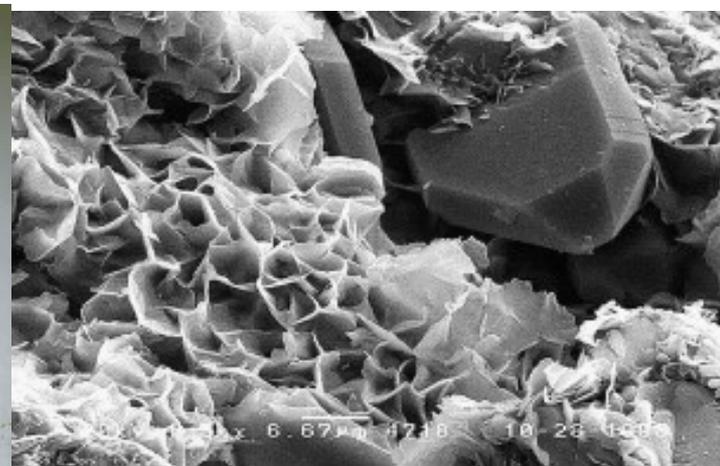
**No hay enlaces de hidrógeno.**

**Gran sustitución isomórfica en la capa octaédrica.**

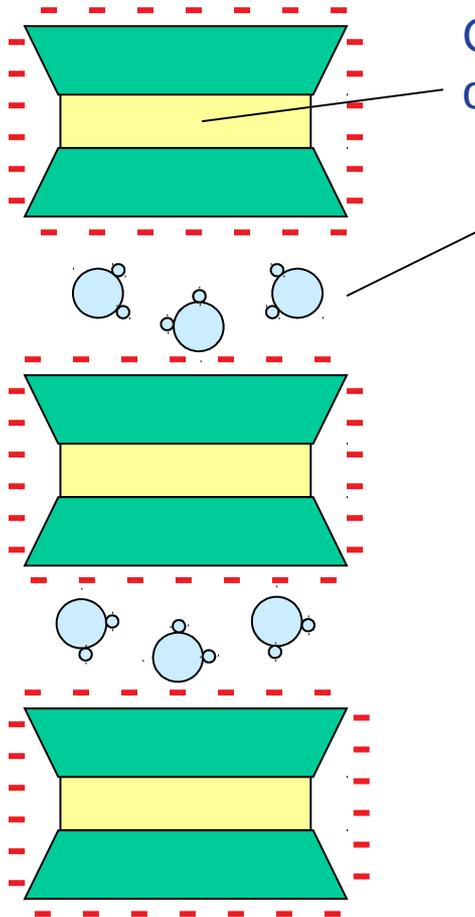
**Las cargas son balanceadas por cationes que se ubican entre las capas.**

**Las zonas entre las capas están disponibles para recibir agua y cationes.**

**Presentan contracción y expansión (0.98 – 1.8 nm)**

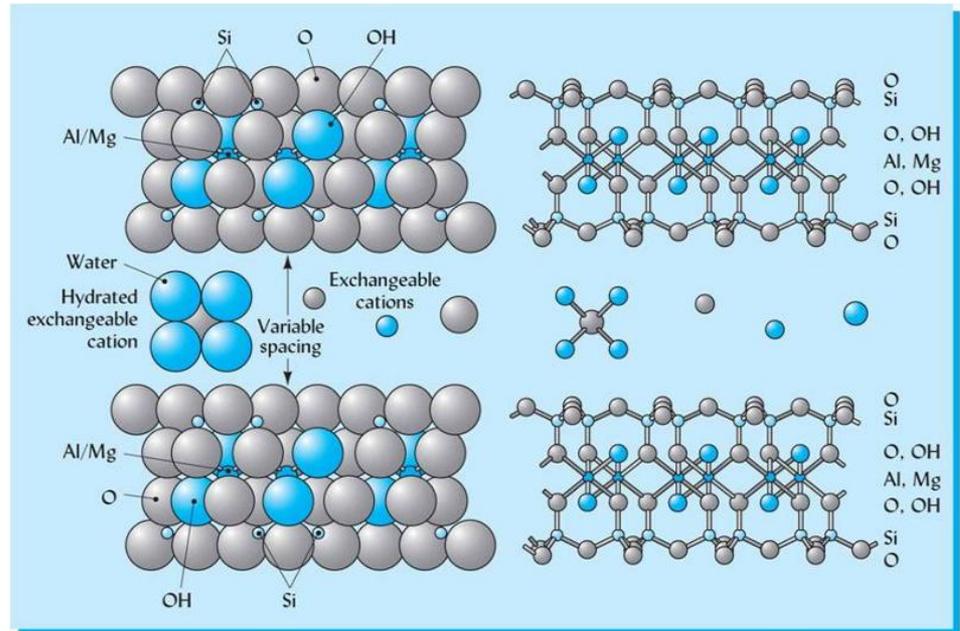


# Un ejemplo de arcilla del grupo de las esmectitas es la Montmorillonita:



Gran sustitución isomórfica en la capa octaédrica.

Moléculas de agua (pueden entrar o salir dependiendo de las condiciones de humedad del medio ambiente)



## ***Vermiculitas:***

### **Características principales de las vermiculitas:**

**Es una arcilla del tipo 2:1.**

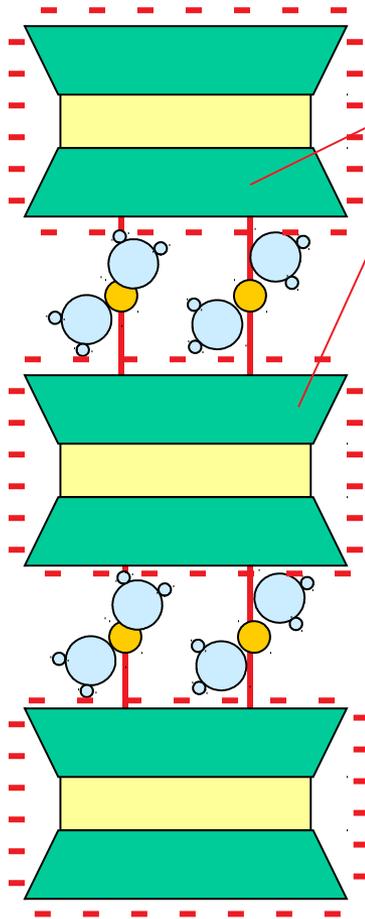
**Gran sustitución isomórfica en la capa tetraédrica.**

**Las cargas también son balanceadas por agua y cationes (principalmente  $Mg^{2+}$ ) que se ubican entre las capas.**

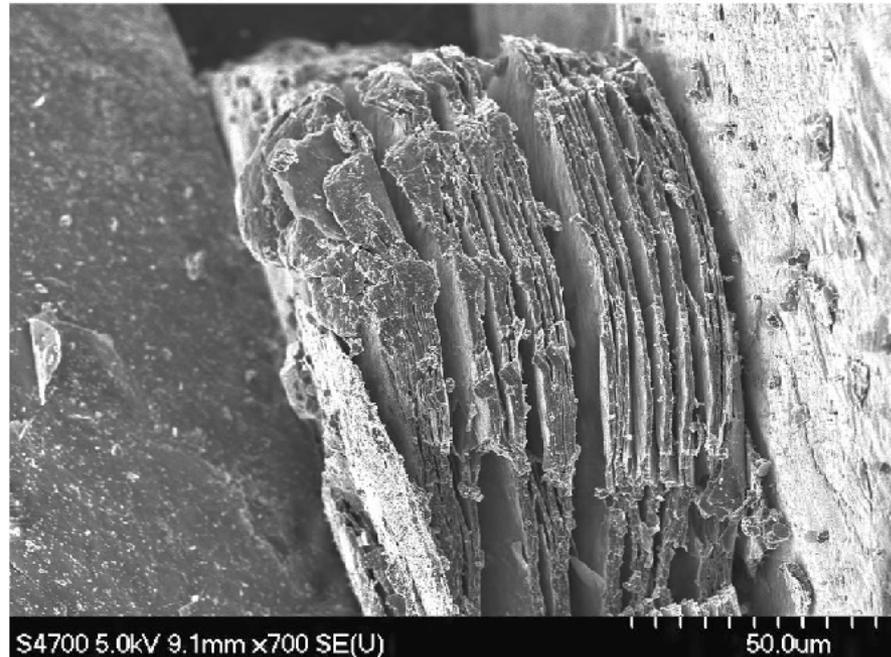
**Presentan menor contracción y expansión comparadas con las esmectitas debido a que los iones entrantes entre las intercapas son atraídos con más fuerza.**

**La palabra vermiculita proviene de *vermicelli*, que significa pequeño gusano.**

# Vermiculitas



Gran sustitución isomórfica en la capas tetraédricas.



## ***Illitas:***

### **Características principales de las illitas:**

**Es una arcilla del tipo 2:1.**

**Gran sustitución isomórfica en la capa tetraédrica.**

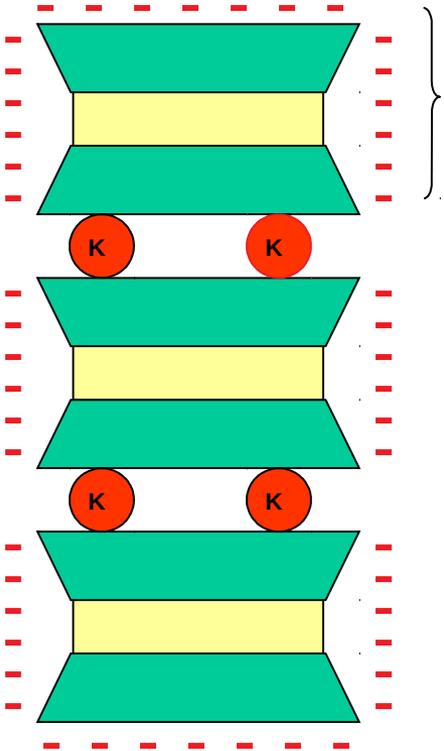
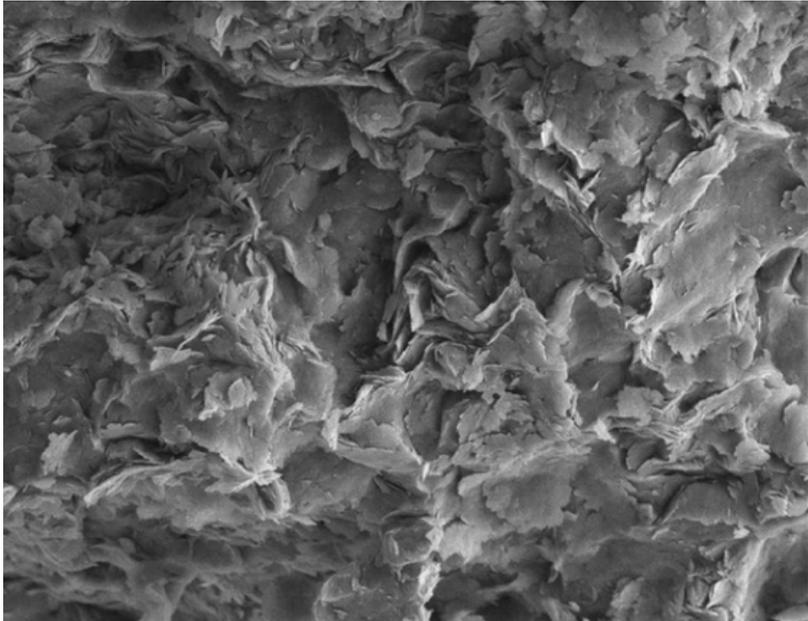
**Las cargas son balanceadas por  $K^+$  ubicado entre las capas, el cual se coordina perfectamente con los átomos de oxígeno de las capas tetraédricas. Las moléculas de agua no pueden ubicarse entre las capas.**

**No presentan contracción y expansión.**

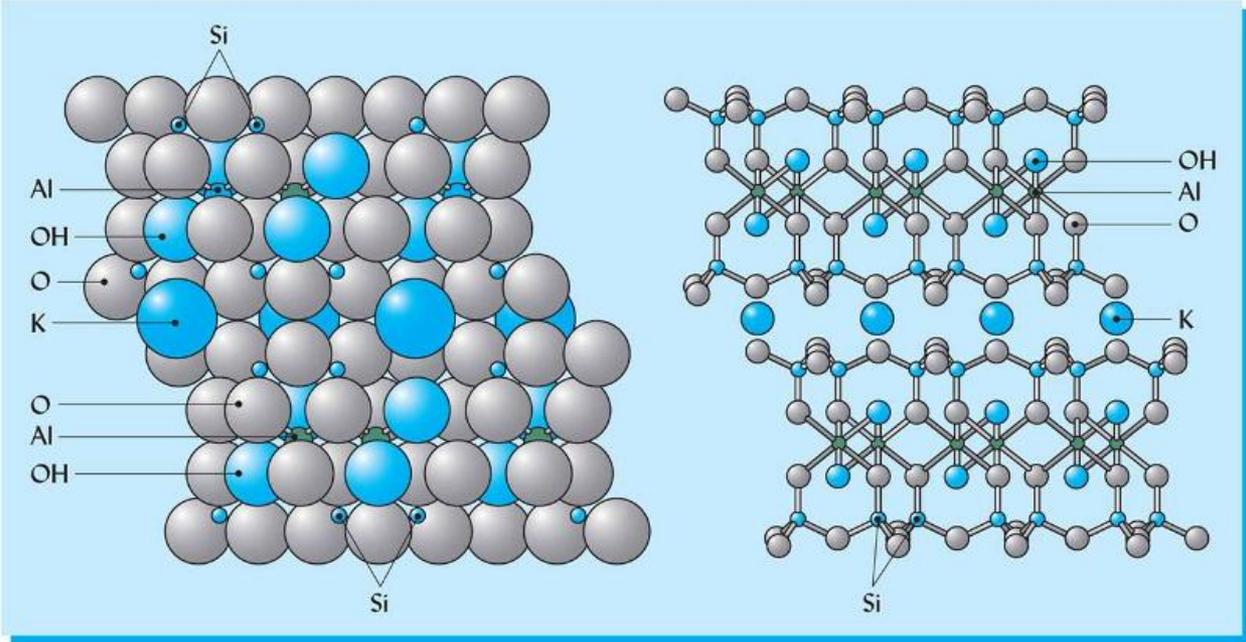
**También se le denomina mica hidratada debido a que se piensa que es un producto de la intemperización de las micas.**

**La palabra illita proviene de Illinois.**

# Illitas:



Capa 2:1



### **3. Combinación de dos láminas de tetrahedros de Si, una lámina de octahedros de Al y una entrecapa de hidróxido de Magnesio. (Mineral del tipo 2:1:1)**

#### ***Cloritas:***

#### **Características principales de las cloritas:**

**Es una arcilla del tipo 2:1:1.**

**Una capa de hidróxido de magnesio ( $Mg_6(OH)_{12}$ ) (Brucita) ocupa el espacio entre capas de las estructuras 2:1.**

**La estructura 2:1 es similar a la de las esmectitas y vermiculitas.**

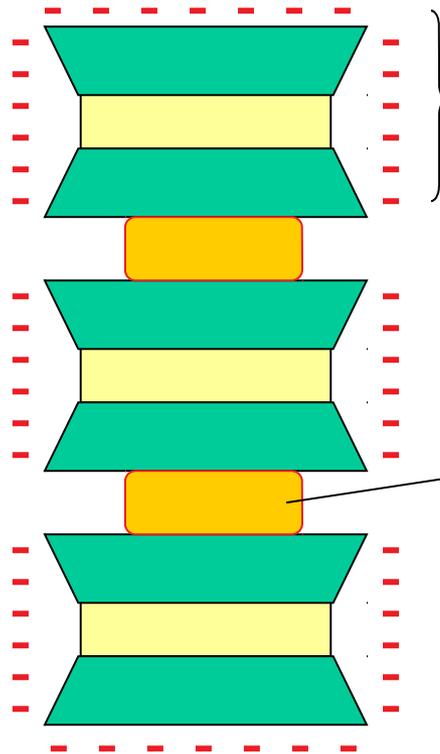
**El mayor cambio es en la capa de brucita.**

**Sustitución isomórfica en la capa de brucita en que  $Mg^{2+}$  puede ser sustituido por  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ , o  $Fe^{2+}$ .**

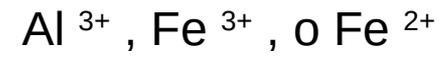
**La carga neta de la capa de brucita es positiva, lo cual promueve la formación de enlaces muy fuertes entre las capas.**

**No hay expansión y contracción.**

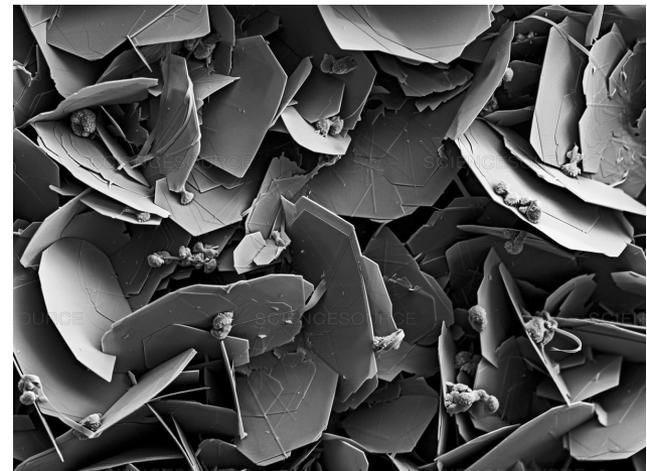
## Sustitución isomórfica

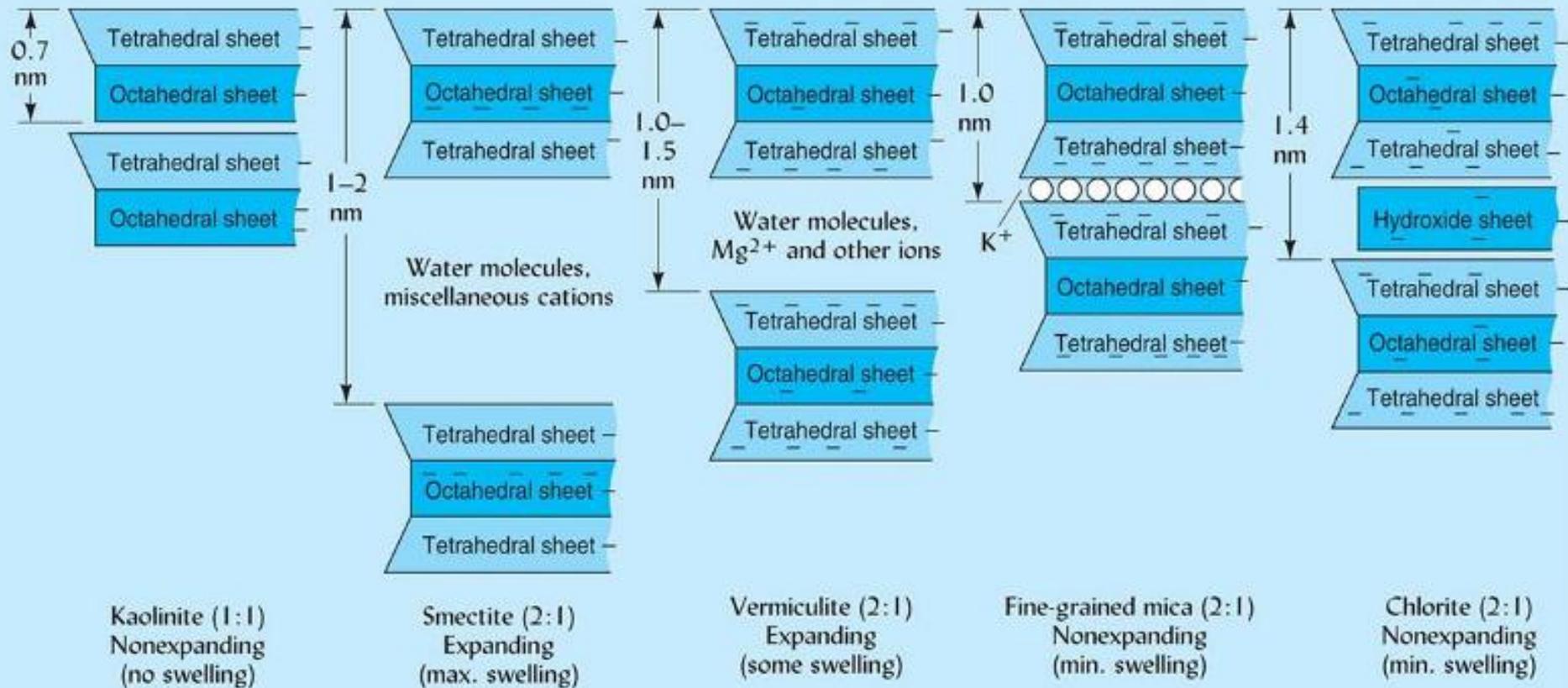


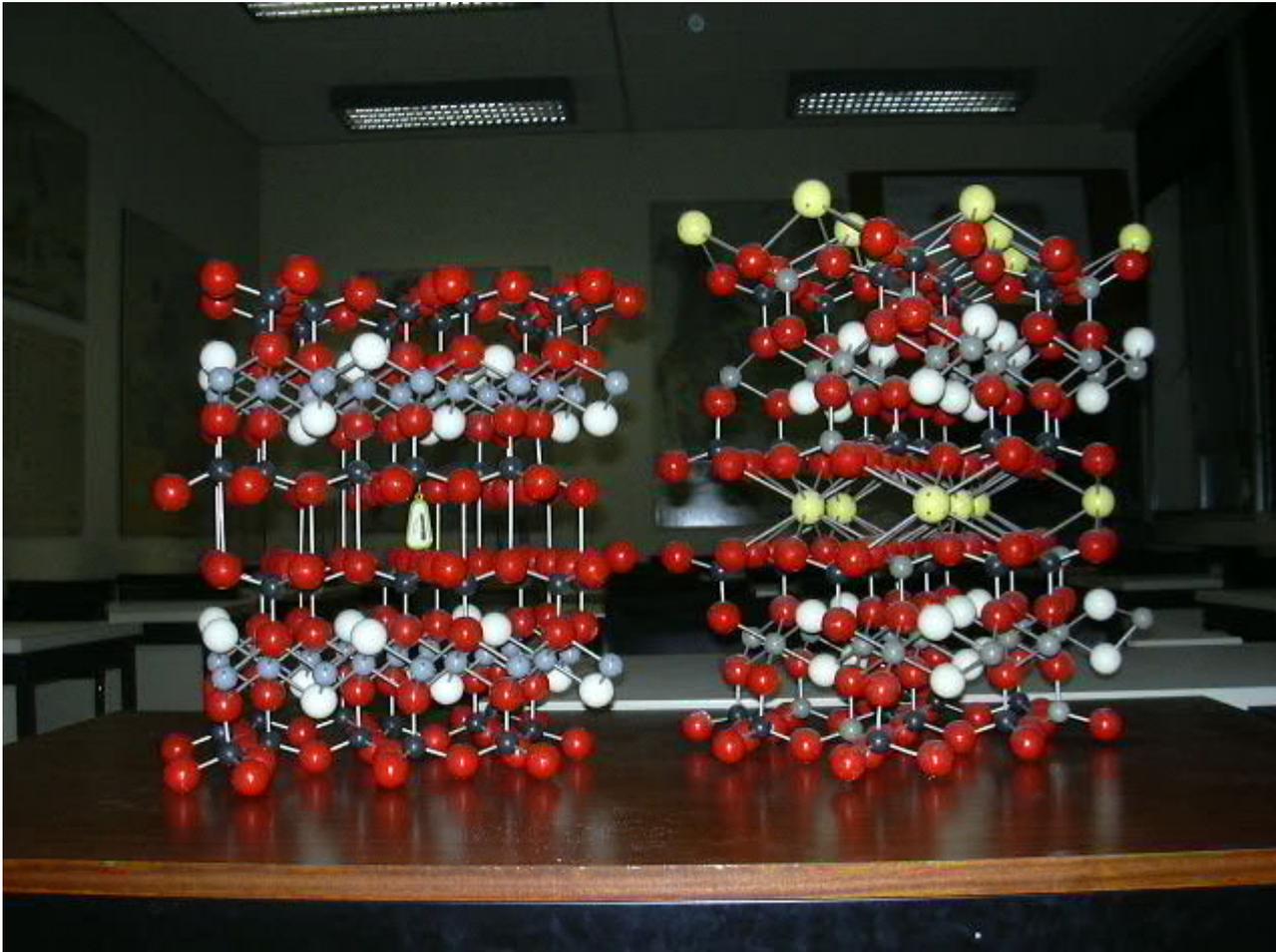
Capa 2:1



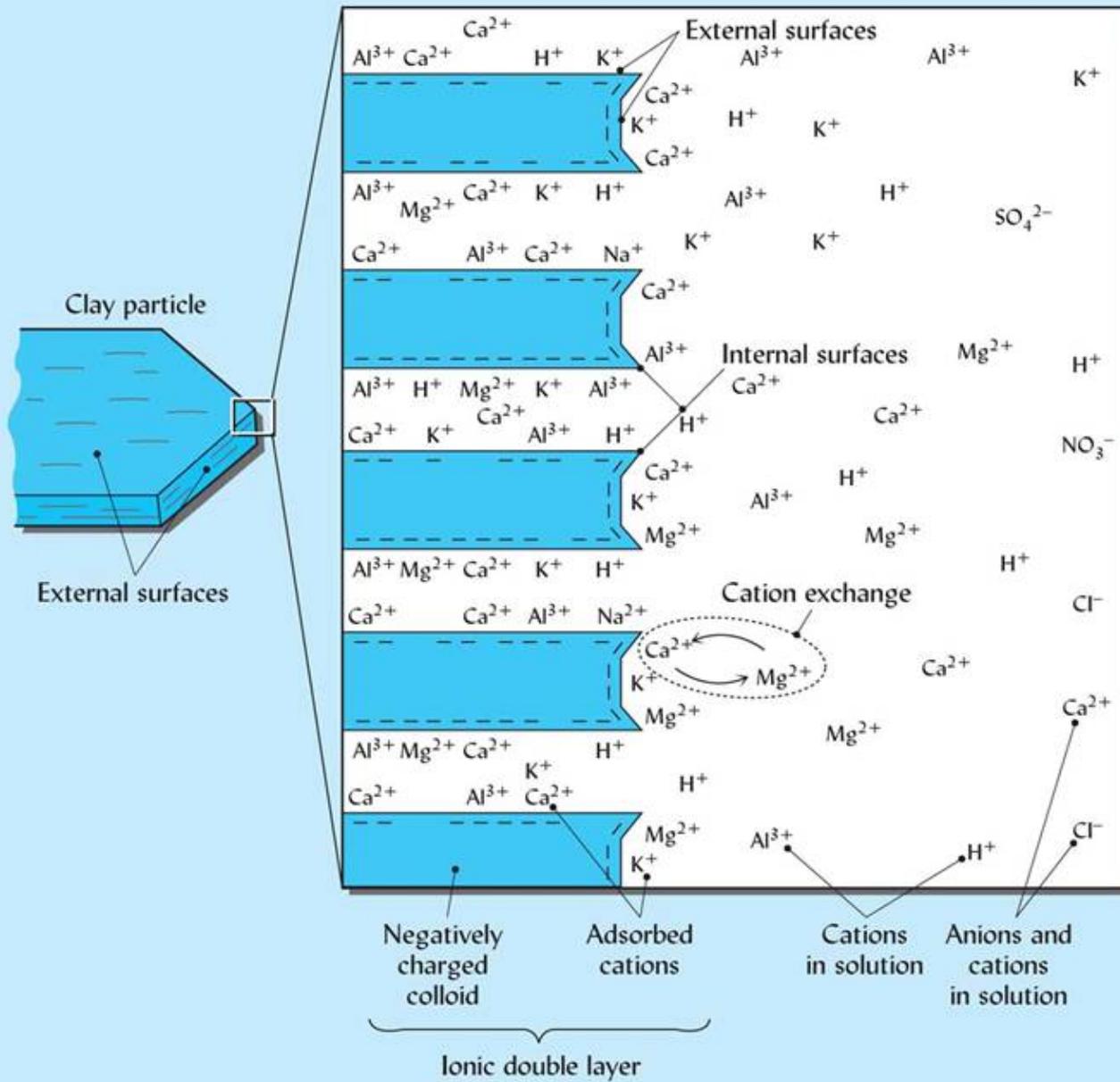
Capa de brucita ( $\text{Mg}_6(\text{OH})_{12}$ )



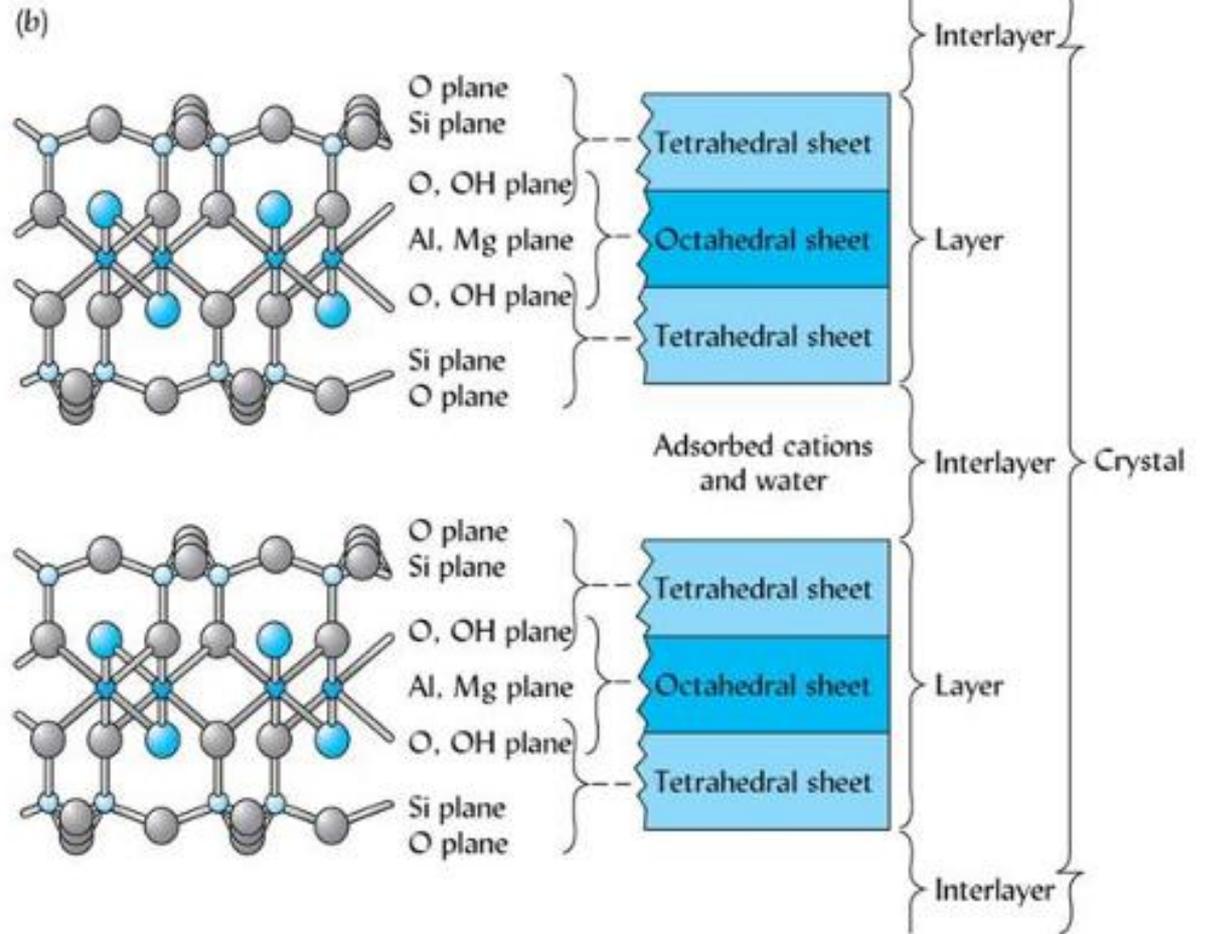
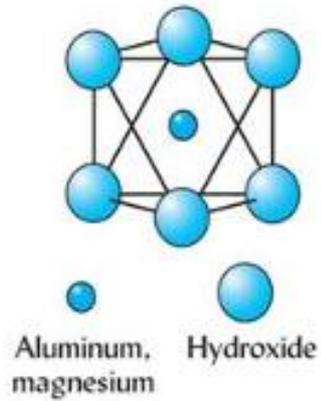
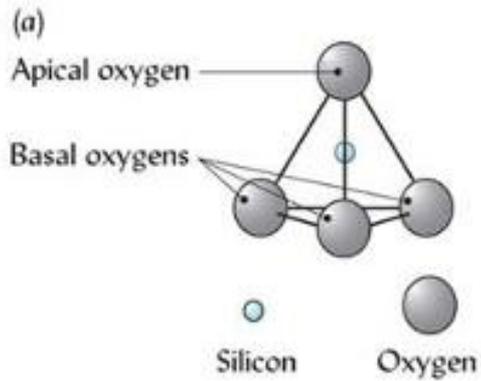




Esquema más complejo (pero muy didáctico) de visualización de la estructura mineral de una arcilla silicatada. La próxima imagen sirve para captar el enlace entre estructuras mediante el compartir los oxígenos.



Representación simplificada de un cristal silicatado de arcilla y cationes y aniones en la solución suelo. La vista ampliada a la derecha muestra que la arcilla está conformada de “hojuelas” o capas con superficies externas e internas cargadas negativamente. La partícula cargada negativamente actúa como un “inmenso anión” que atrae y **adsorbe** a un montón de cationes (+) (la famosa atracción de los polos opuestos!!!) La concentración de los cationes decrece con la distancia a la partícula de arcilla. Los aniones como Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, que son repelidos desde los sitios de carga negativa de la arcilla pueden ser encontrados en la solución suelo (más a la derecha en esta figura). Algunas arcillas (no mostradas en la figura) pueden tener cargas positivas que pueden atraer a estos aniones. Texto traducido de [http://faculty.yc.edu/ycfaculty/ags105/week08/soil\\_colloids/soil\\_colloids\\_print.html](http://faculty.yc.edu/ycfaculty/ags105/week08/soil_colloids/soil_colloids_print.html)



## Arcillas silicatadas de estructura cristalina pobremente ordenada

- Este tipo de arcillas se caracterizan porque *su estructura cristalina no es tan ordenada* como la de las arcillas silicatadas tradicionales.
- Se les suele llamar *arcillas amorfas* o minerales de orden de rango corto.
- *Alofana e imogolita son características de suelos volcánicos recientes (trumaos).*
- Reciben el nombre general de *alofán*, el cual se piensa es un gel (típico de suelos volcánicos).
- Estos minerales amorfos poseen gran capacidad de intercambio de iones (cationes o aniones).

Algunos minerales de este grupo son:

**Alofana**

**Imogolita**

**Zeolita**



05/09/2012

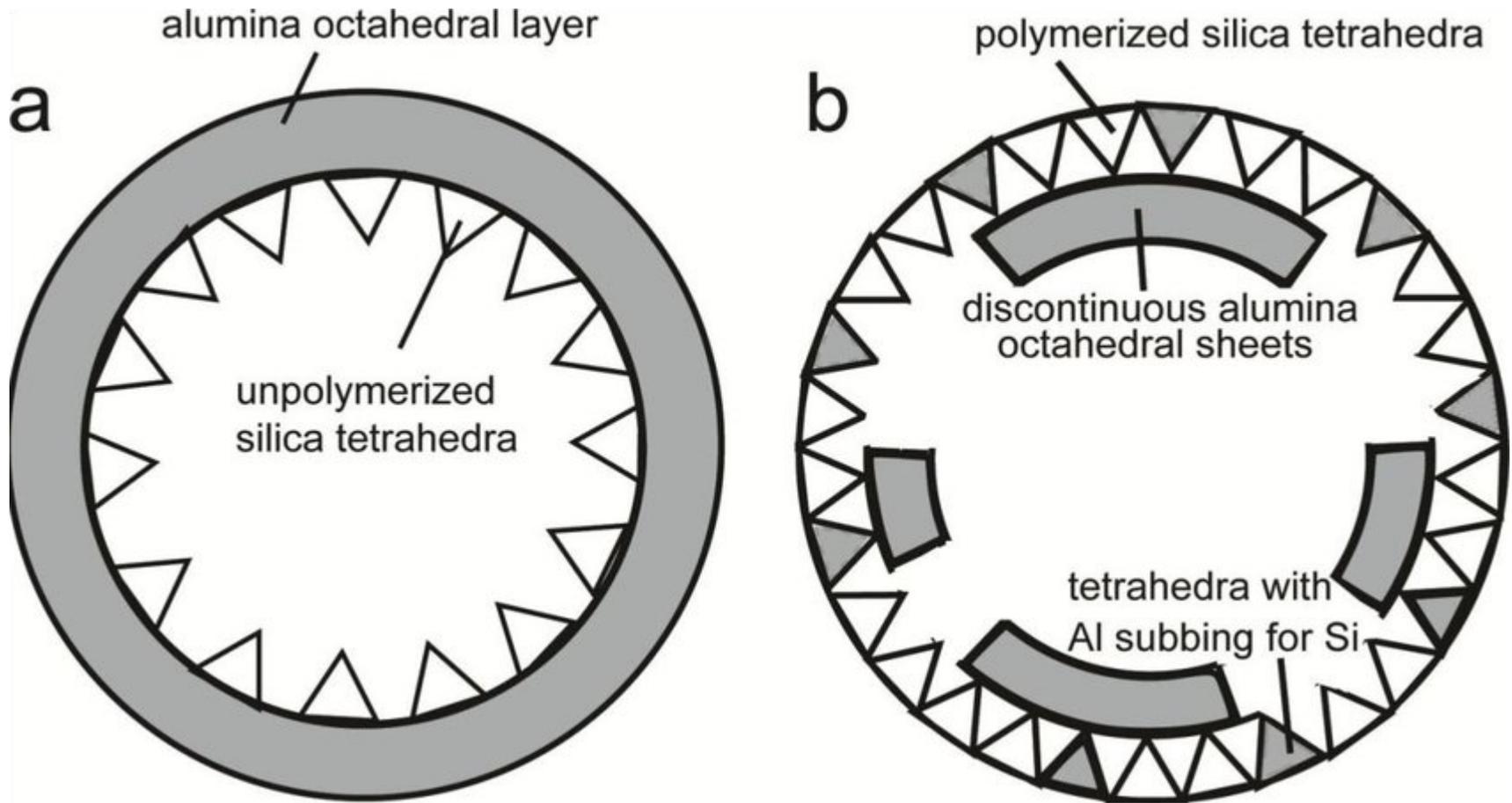
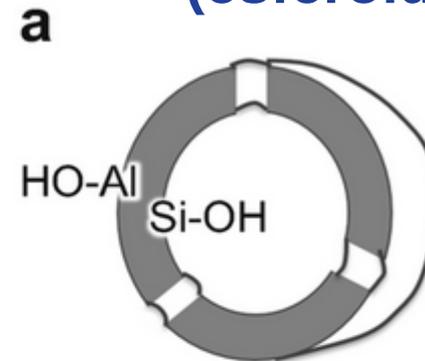
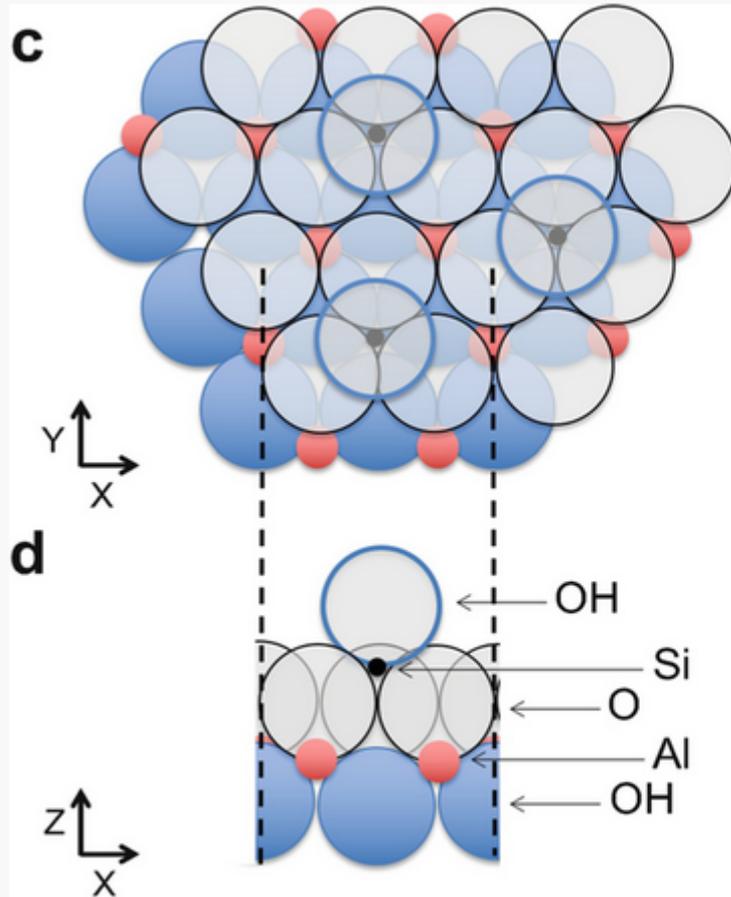


Ilustración simplificada de estructuras de alofán: a) alofán tipo imogolita con una capa dioctahédrica continua de Al y una superficie interior no-polimerizada de tetrahedros de silicio b) depósitos discontinuos de capas octahédricas de Al que son rodeadas por tetrahedros de Si en el exterior.

## Alófana (esferoidal)



## Imogolita (tubular)

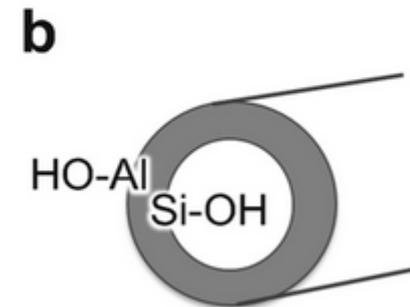
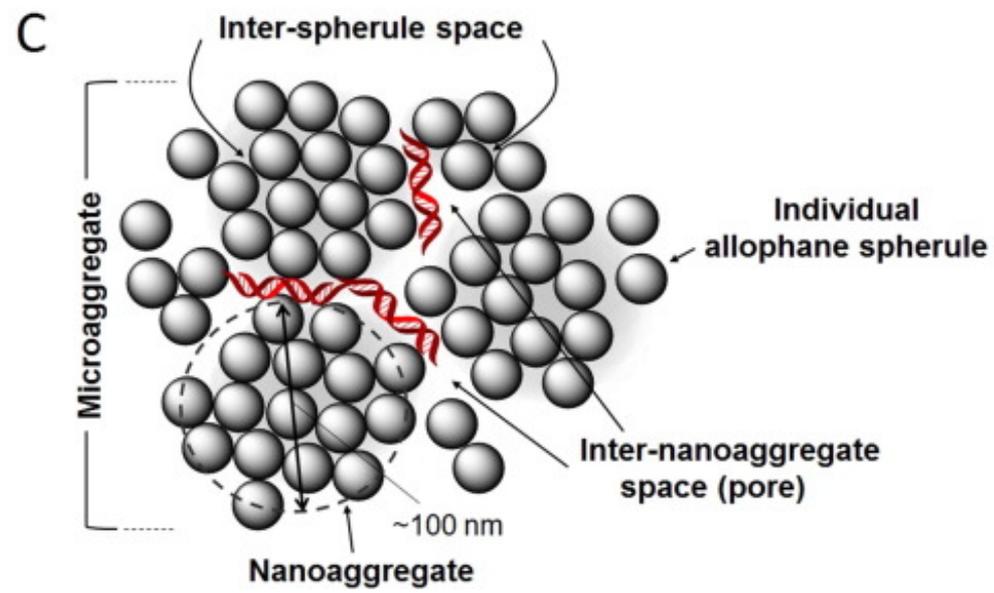
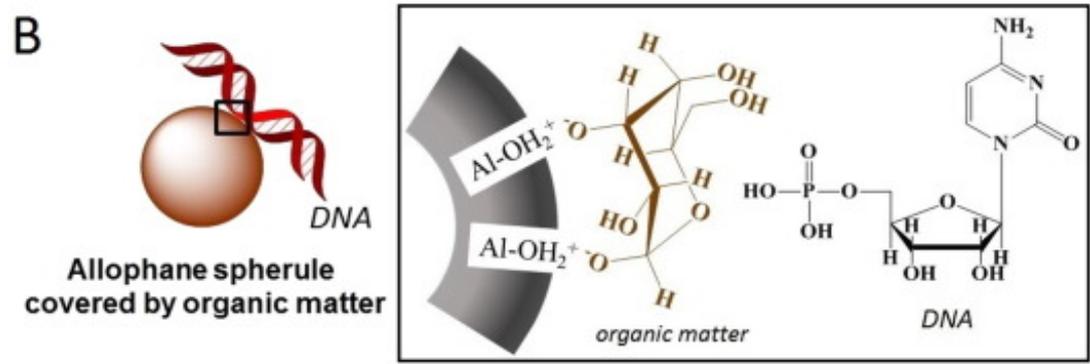
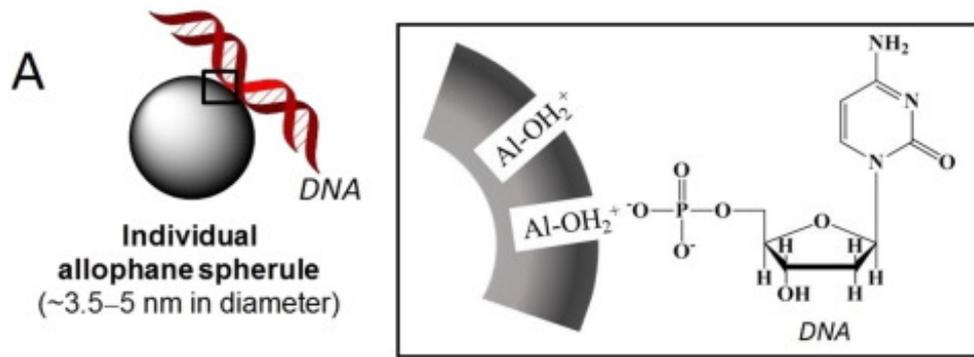
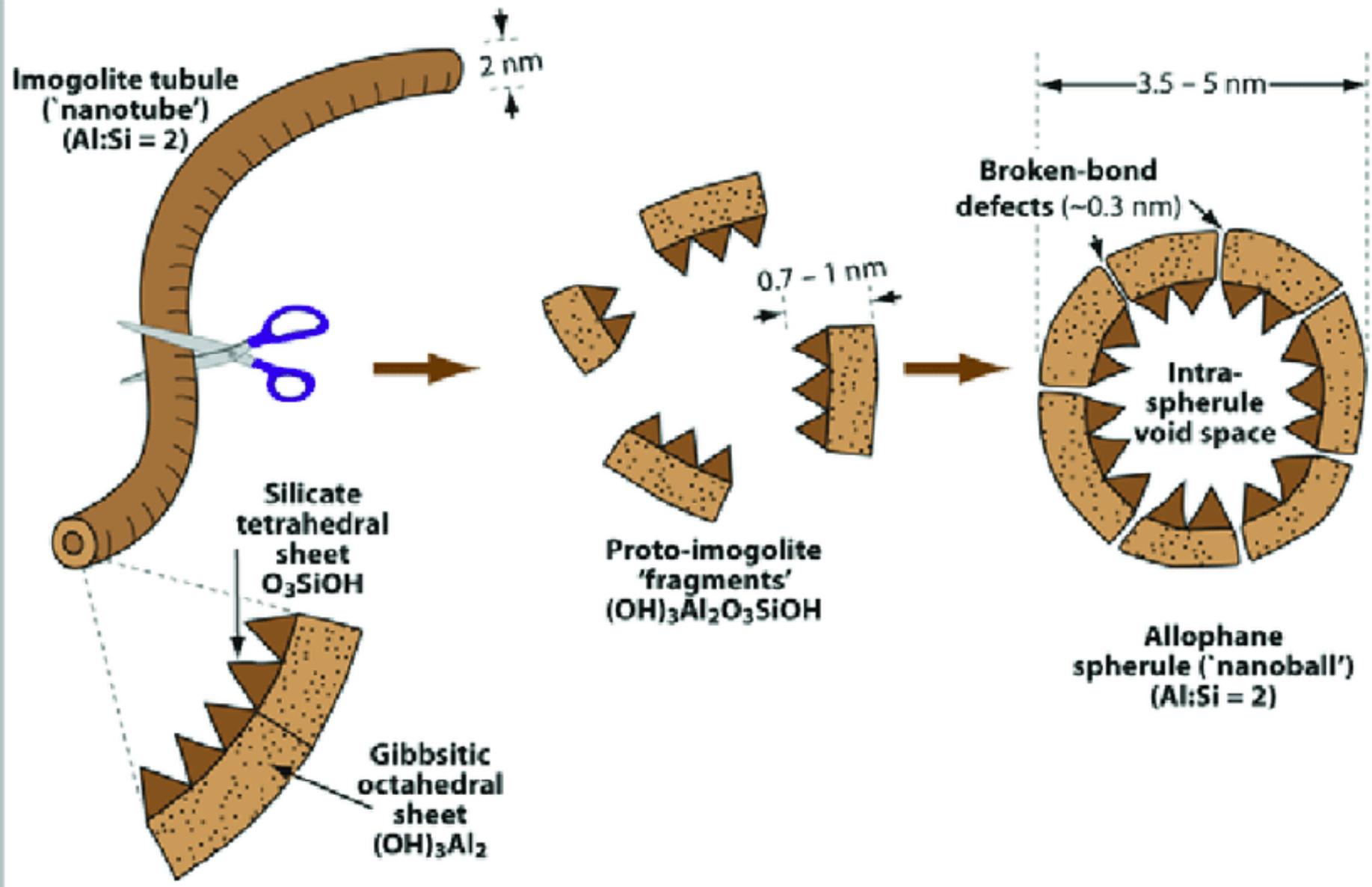


Fig. 4.8

Cross sections of (a) allophane and (b) imogolite, (c) plane view from the inside of a unit particle model, and (d) its side view

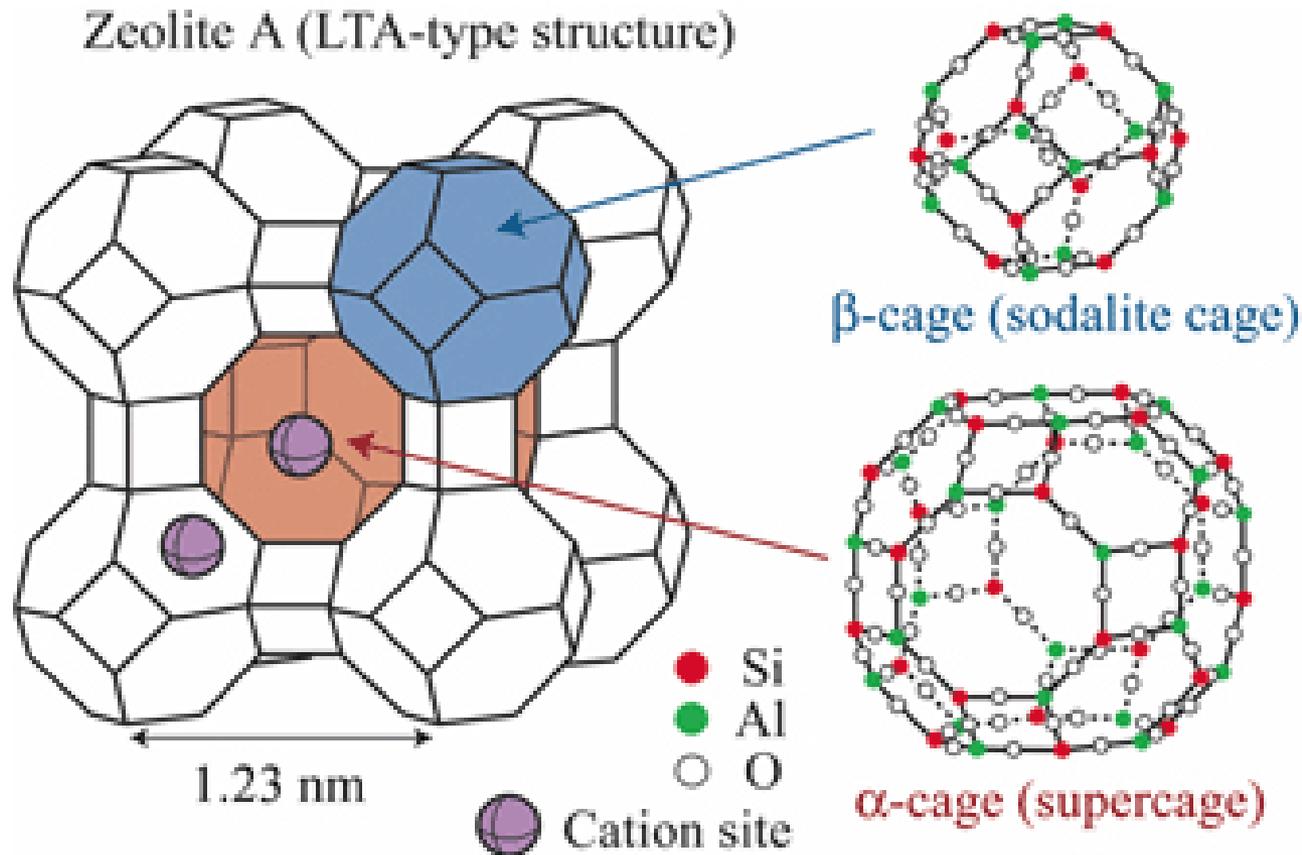


Partículas de alófana interactuando con moléculas de humus (materia orgánica) y ADN



# Zeolita

Gran capacidad de sorción de metales pesados (plomo, mercurio, cadmio y arsénico), pesticidas, herbicidas y otros compuestos tóxicos.



(image from <http://www.sssj.org/ejsnt/duan-small.jpg> )

# Óxidos e hidróxidos de Fe y Al (Sesquióxidos)

Carecen de Si

Estos minerales pueden ser cristalinos o amorfos.

Están conformados por capas octahédricas (los cristalinos) exclusivamente.

No presentan sustitución isomórfica pero si tienen carga, la cual es variable dependiendo del pH del suelo

# Arcillas no silicatadas:

## Óxidos e hidróxidos de Fe y Al (Sesquióxidos)

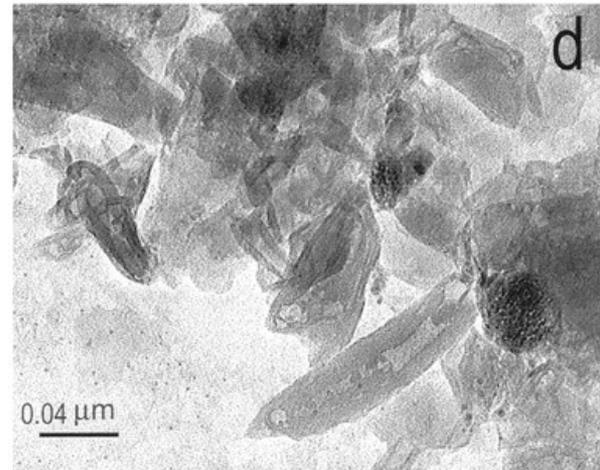
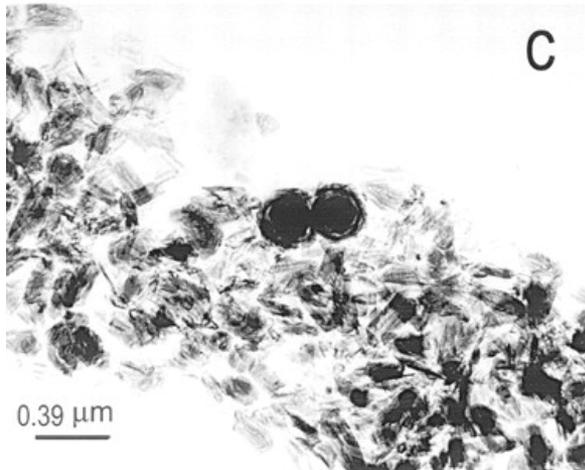
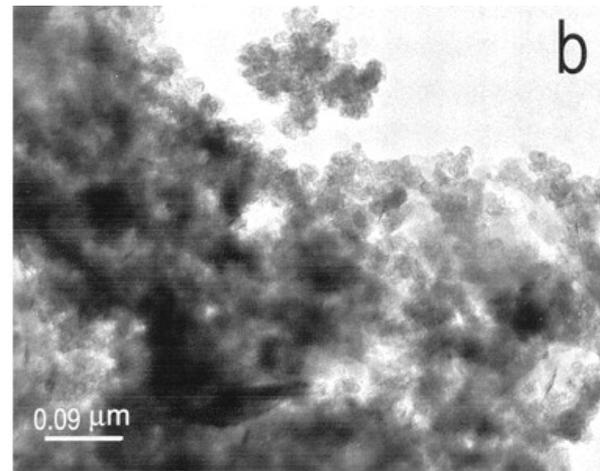
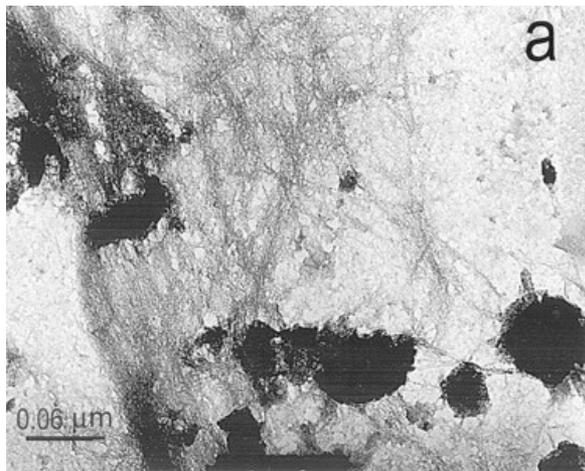
Hematita  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  Usualmente de color rojo

Magnetita  $\text{Fe}_3\text{O}_4$

Ferrihidrita  $5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$

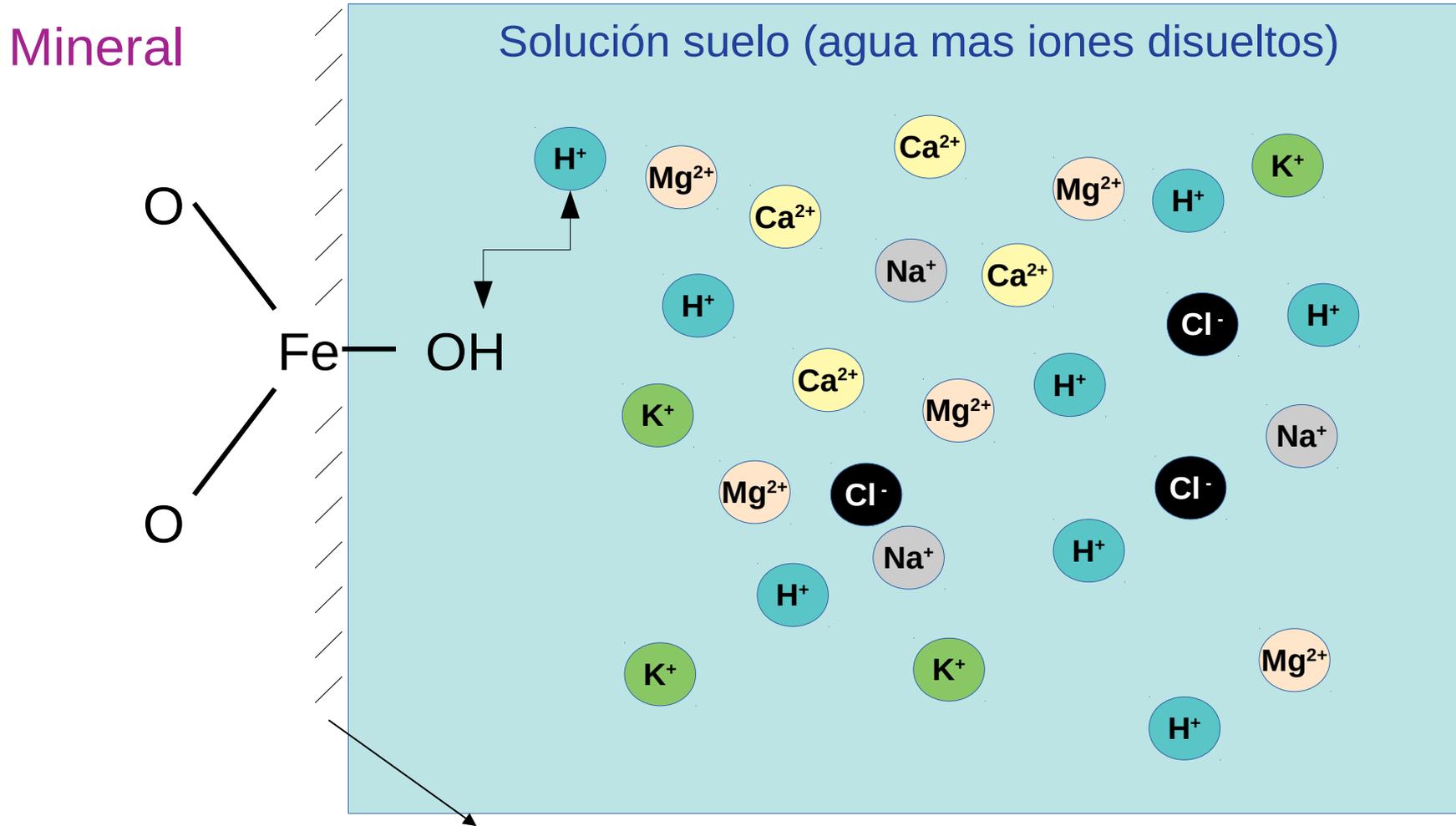
Goethita (Hidróxido de hierro)  $\text{FeOOH}$

Gibbsita  $\text{Al}(\text{OH})_3$



Microfotografías de la fracción arcilla de algunos horizontes de suelo: (a) fibras lisas y onduladas de Imogolita, (b) agregados de partículas esféricas y circulares de alofán, (c y d) esferoides y tubos de haloisita (mineral cristalino 1:1). Foto obtenida de: *Genesis of Tephra-derived Soils from the Roccamonfina Volcano, South Central Italy*. A. Vacca<sup>\*a</sup>, P. Adamo<sup>b</sup>, M. Pigna<sup>b</sup> and P. Violante. *Soil Science Society of America Journal* 67:198-207 (2003)

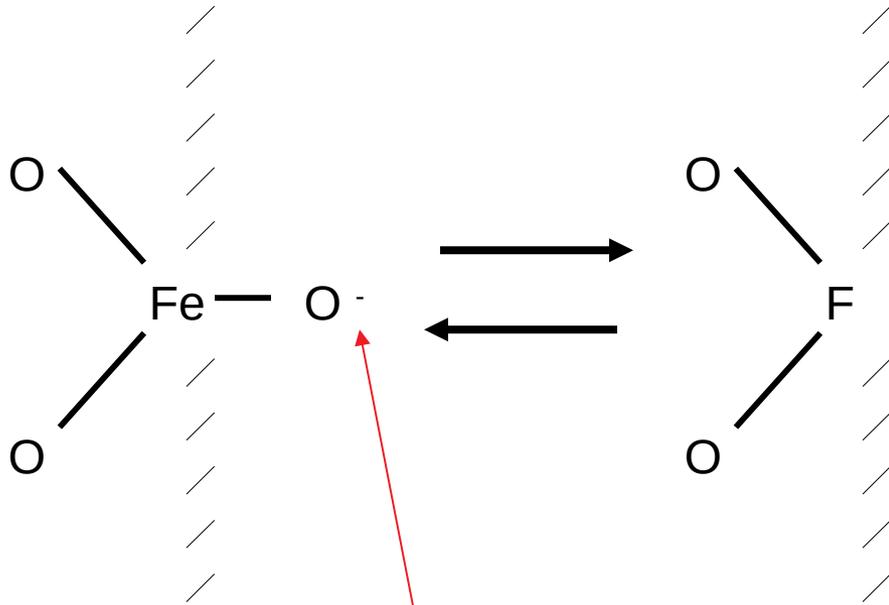
# De qué parte provienen las cargas en estos minerales?



Borde entre el mineral y la solución suelo

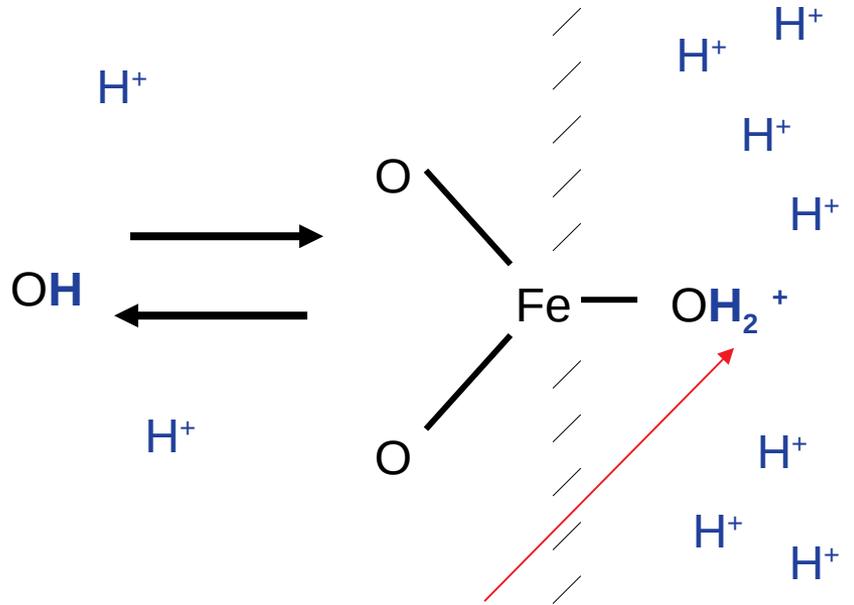
pH alto (más básico)

(pocos  $H^+$  en la solución suelo)



pH bajo (más ácido)

(muchos  $H^+$  en la solución suelo)



Las cargas del mineral varían de acuerdo al pH de la solución suelo (proceso de protonación deprotonación).

Los sesquióxidos son frecuentemente encontrados en suelos de intenso desarrollo pedogenético, ya sea por tiempo, clima (mayor precipitación y temperatura) o ambos.

Estos minerales, dado su pequeñísimo tamaño, generalmente forman capas que envuelven a otros minerales.

## 10.17 Oxisols

Oxisols usually lack distinct horizons, except for darkened surface layers. Soil minerals are weathered to an extreme degree and are dominated by stable sesquioxides of aluminum and iron, giving them red, yellow, and yellowish-brown colors. The soil has a very low base status because nearly all the bases have been removed. There's a small store of nutrient bases very close to the soil surface. The soil is quite easily broken apart, so rainwater and plant roots can easily penetrate.

▼ **An Oxisol in Hawaii** Sugarcane is being cultivated here on the island of Oahu.



▲ **Soil profile for an Oxisol** The intense red color is produced by iron sesquioxides. This profile shows an Oxisol of the suborder Torrox in Hawaii.



## Otros minerales secundarios no silicatados:

- Se forman a partir de procesos de disolución y precipitación
- Más comunes en zonas áridas

Carbonatos y sulfatos

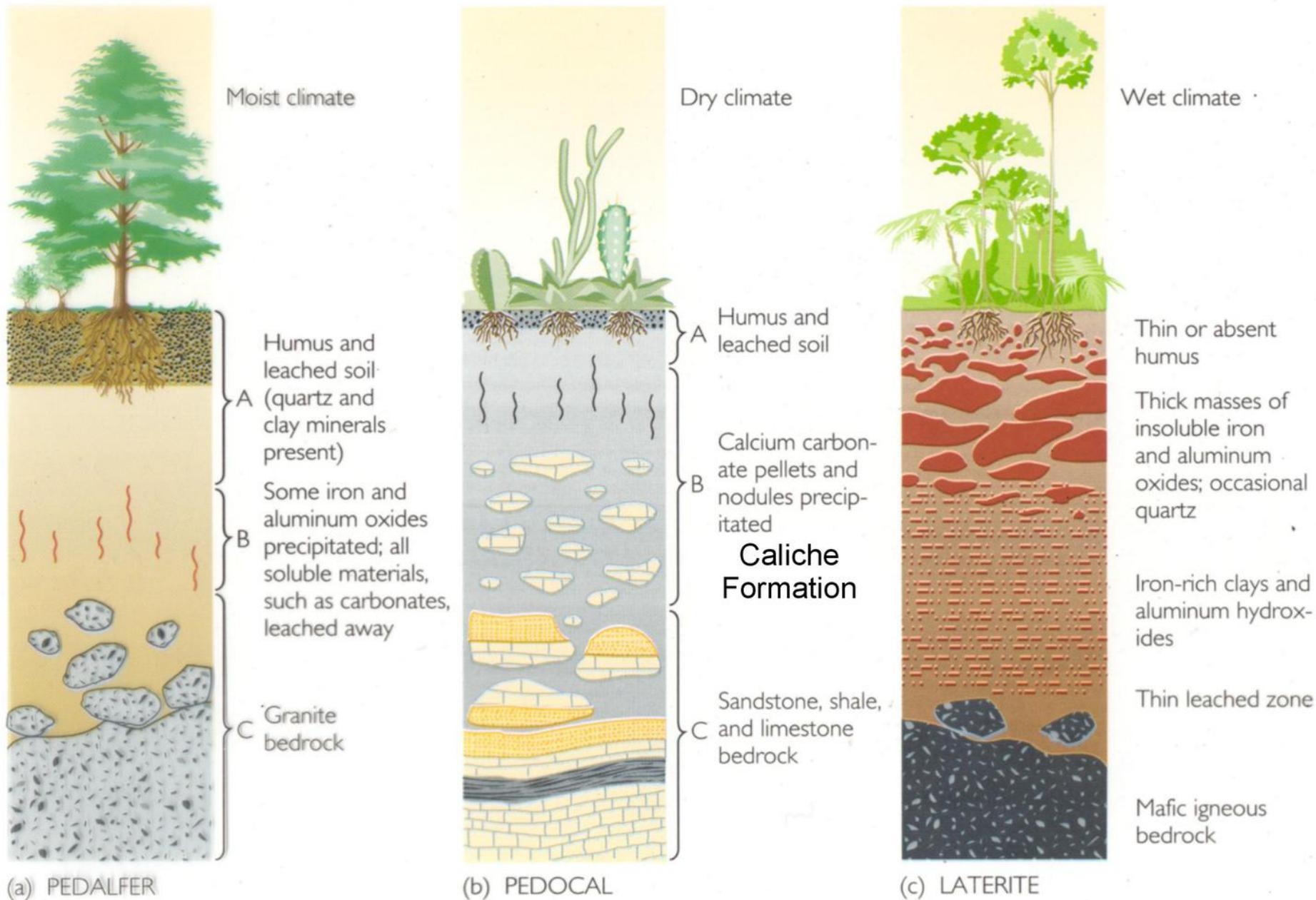
Dolomita  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

Calcita  $\text{CaCO}_3$

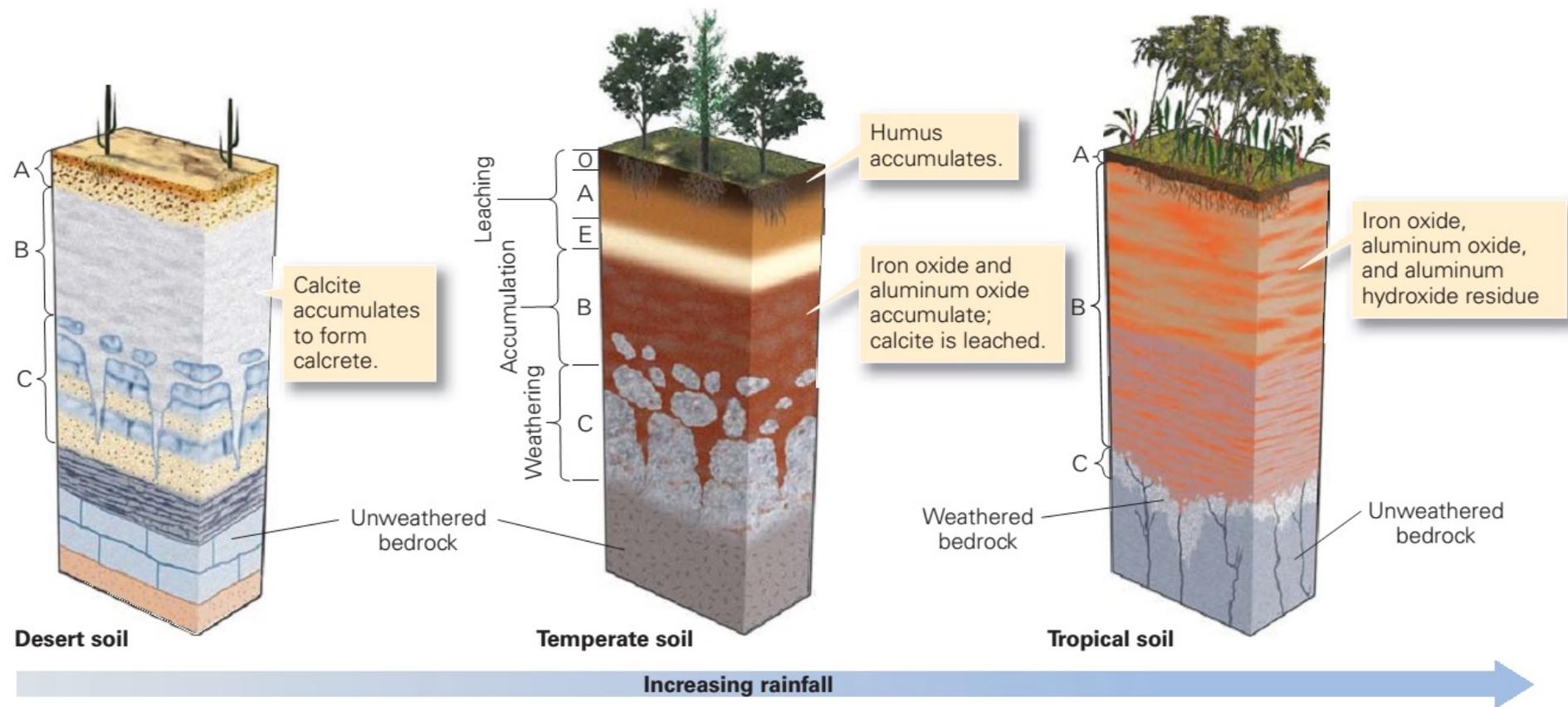
Yeso  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Bicarbonato de sodio  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$

También cubren a modo de capas a otros minerales del suelo. El agua puede disolverlos mucho más fácilmente comparado con otros minerales. No son ractivos desde el puntode vista de atracción de cationes



**Figure 6.15**  
Press and Siever: *Understanding Earth*



**(a)** Aridisol forms in deserts. Rainfall is so low that no O-horizon forms, and soluble minerals accumulate in the B-horizon.

**(b)** Alfisol forms in temperate climates. An O-horizon forms, and less-soluble materials accumulate in the B-horizon.

**(c)** Oxisol forms in tropical climates where percolating rainwater leaches all soluble minerals, leaving only iron- and aluminum-rich residues.

Primary aluminosilicates

High in K

High in Mg, Ca, Na, Fe

Microcline

Orthoclase

Others

Muscovite

Micas

Biotite

Primary chlorite

Soda lime

Feldspars

Augite

Hornblende

Others

