

Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales  
Escuela de Ingeniería Forestal  
Departamento Ordenación de Cuencas

# **Coloides del Suelo**

## **Su Naturaleza y Significado Práctico**

Prof. Clifford Peña Guillén

# CONTENIDO

- Propiedades de los coloides
- Tipos de coloides
- Organización mineralógica de las arcillas
- Génesis de los coloides inorgánicos del suelo
- Origen de las cargas de los coloides del suelo
- La capacidad de intercambio catiónico y aniónico
- Capacidad de intercambio y la disponibilidad de nutrientes

# COLOIDE

Sustancia generalmente gelatinosa, que al contacto con el agua, forma un medio turbio ya que sus moléculas constitutivas son aglomeradas e incapaces de dializar.

Los principales coloides del suelo son:

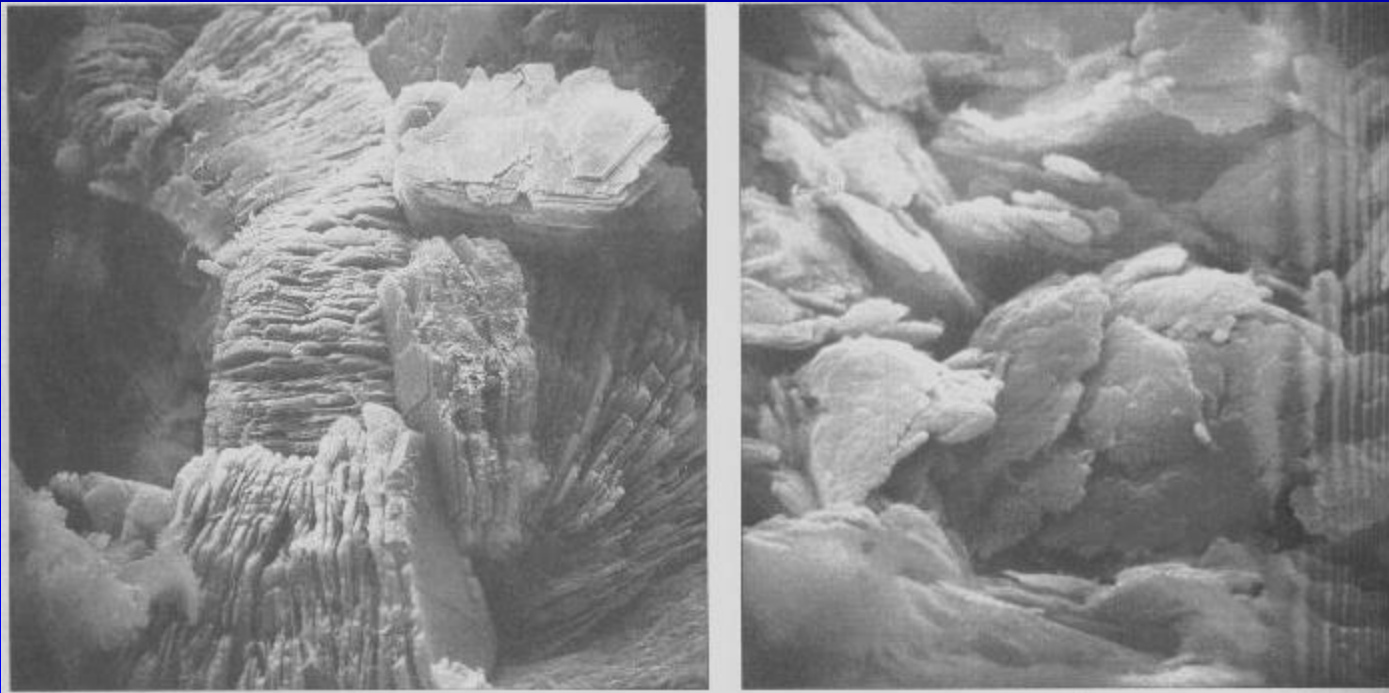
Las arcillas, el humus, la sílice (coloides electronegativos), el aluminio y el hierro (coloides electropositivos).

# Propiedades de los Coloides

- Tamaño
- Area superficial
- Cargas de las superficies
- Adsorción de Cationes y Agua

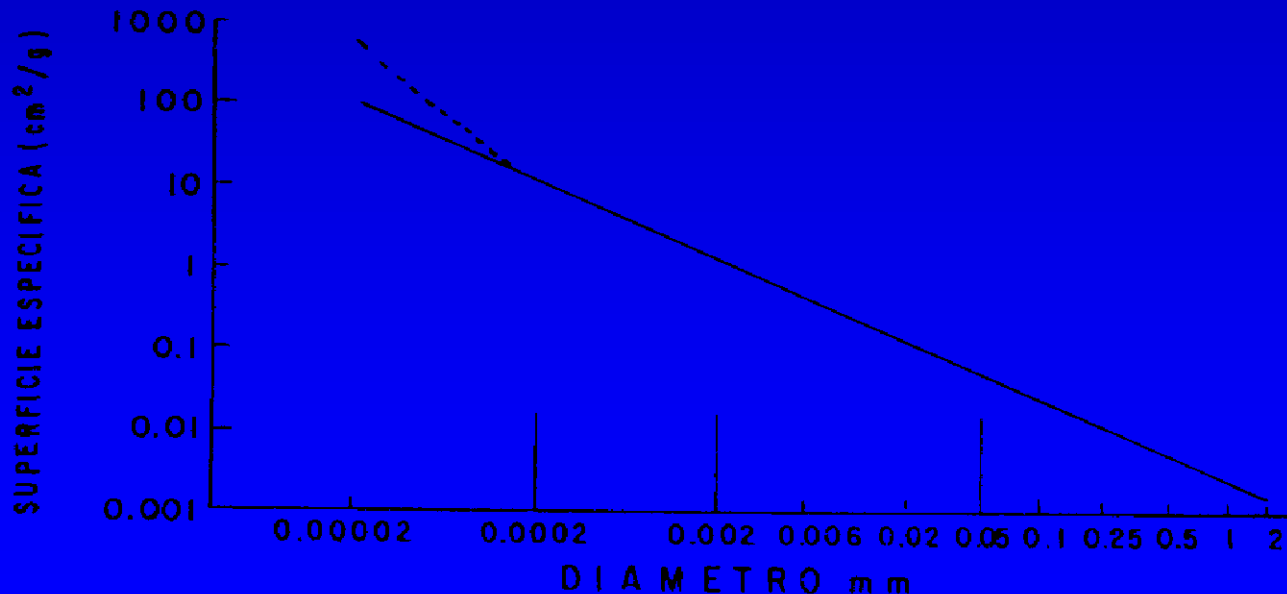
# Tamaño:

Extremadamente pequeño (0,1 y 0,001  $\mu\text{m}$ )



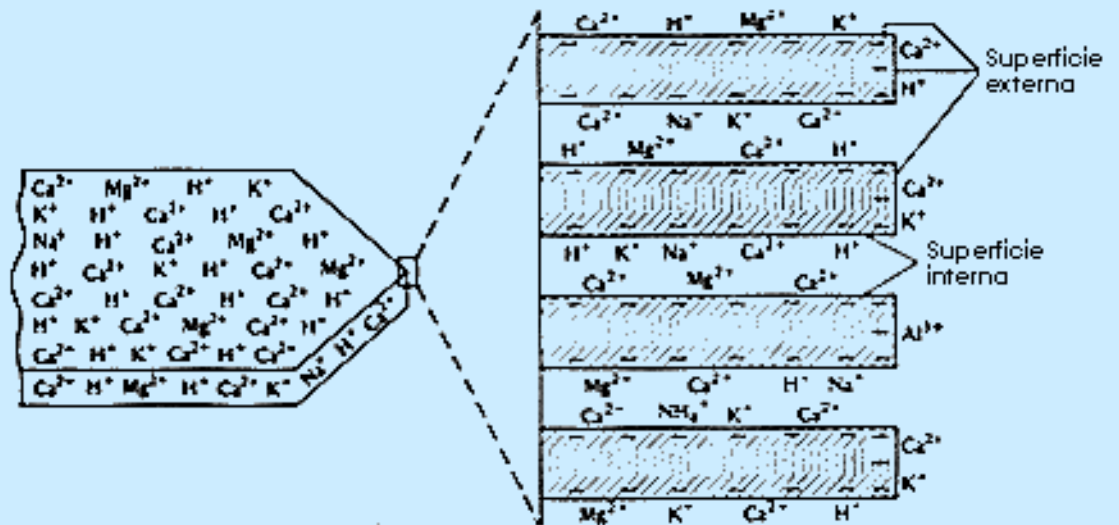
# Área superficial:

- Se refiere al área por unidad de masa del suelo y, por lo general, se expresa en metros cuadrados por gramo.

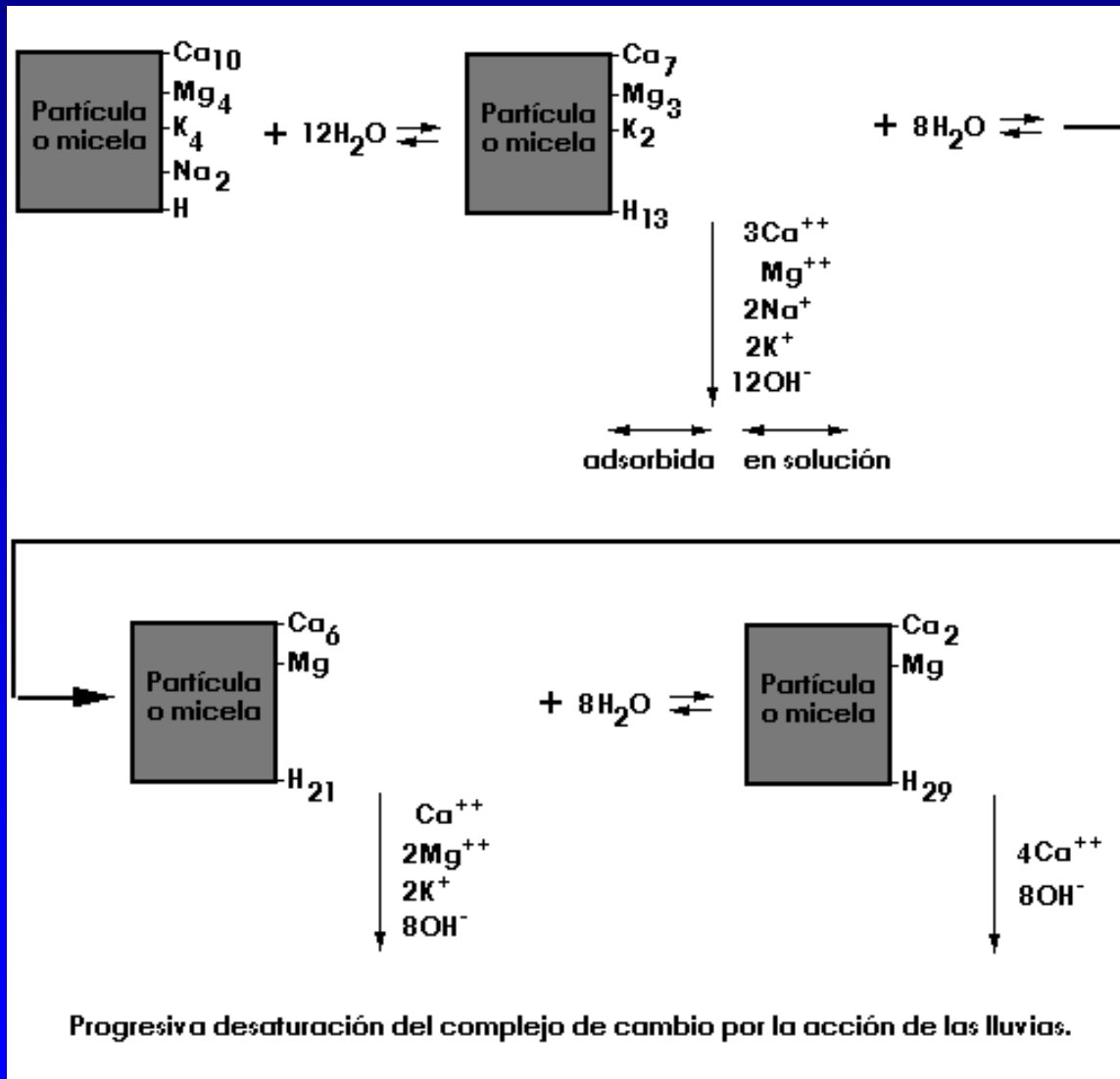


# Cargas de las superficies

Las superficies de los coloides del suelo pueden ser internas y externas, las cuales tienen cargas negativas y/o positivas



# Adsorción de Cationes y Agua





# Tipos de coloides

- Minerales Arcillosos
- Oxidos e Hidróxidos de Si, Fe y Al
- Materia Orgánica

- Los términos de partida de los procesos de alteración son los minerales llamados primarios.
- Los minerales secundarios son el resultado de la alteración de los primarios.
- Algunos minerales secundarios resultan de la alteración de minerales secundarios.

# Génesis de los coloides inorgánicos del suelo.

Rocas



Minerales Primarios



Minerales Secundarios  
(Arcillas)



Minerales Secundarios  
(Arcillas)



Óxidos de Hierro y Aluminio

Alteración

Alteración y Liberación de elementos

Liberación de elementos

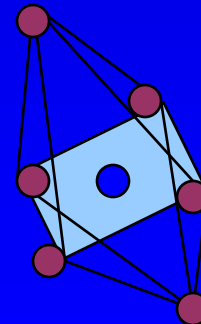
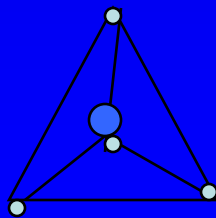
Liberación de elementos



# Arcillas

- Unidad estructural básica: un tetraedro de sílice y un octaedro de alúmina.

• Oxígeno  
• Silicio



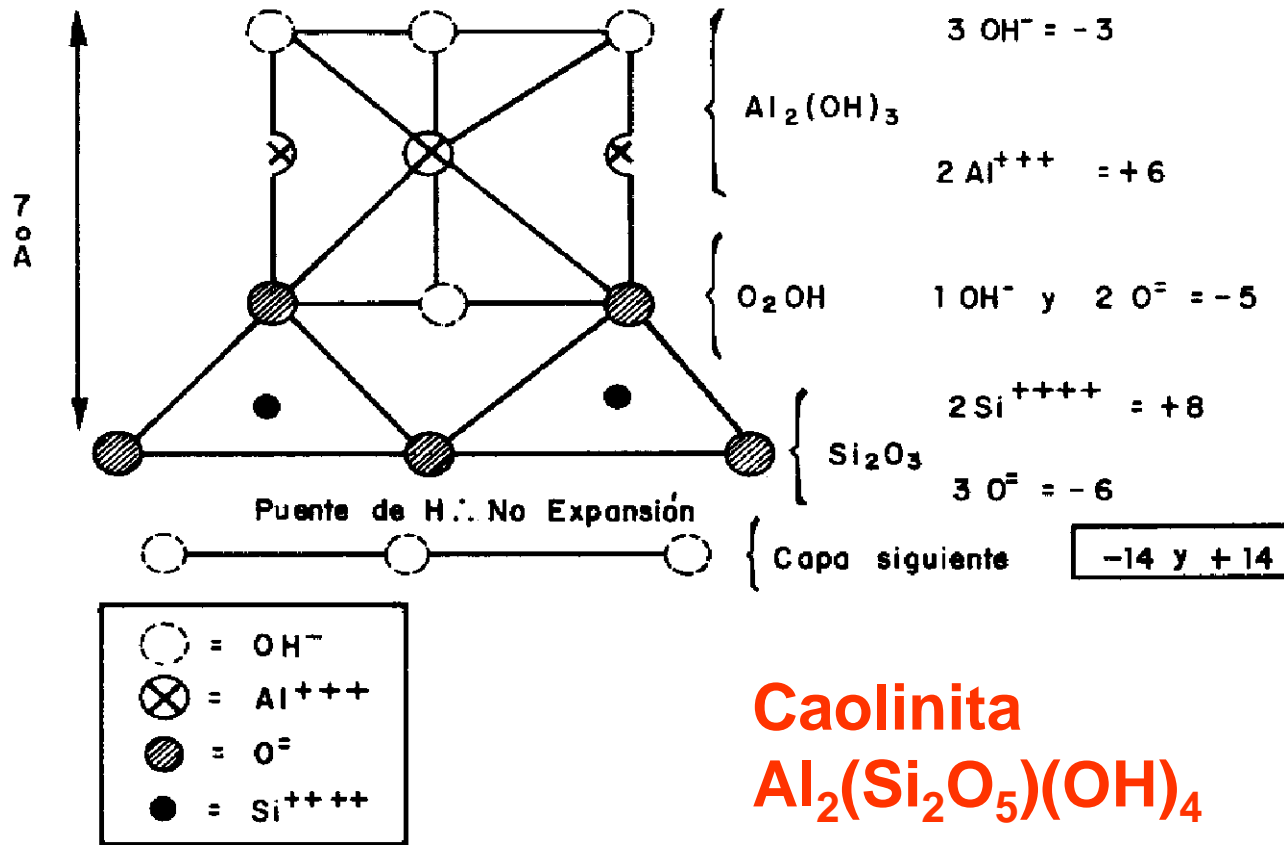
• Aluminio  
• OH

# Minerales Arcillosos

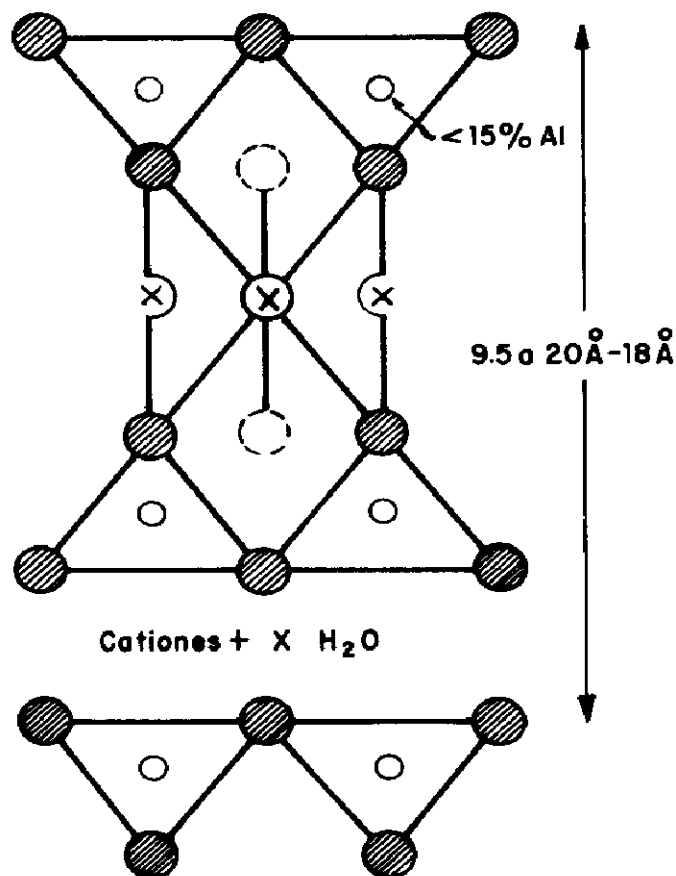
---

- Bilaminares o minerales de Tipo 1:1  
**Caolinita, Haloisita**
- Trilaminares o de tipo 2:1: **Ilita, Vermiculita, Monmorillonita**
- Tetralaminares o de tipo 2:1:1 **Clorita**

# Minerales arcillosos del Grupo 1:1



# Minerales arcillosos del Grupo 2:1



$$3 \text{ O}^{2-} = -6$$

$$2 \text{ Si}^{++++} = +8 \quad (\text{La substitución del silicio es } < \text{ del } 15\%)$$

$$2 \text{ O}^{2-} + 1 \text{ OH}^{-} = -5$$

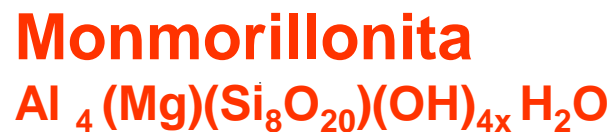
$$2 \text{ Al}^{+++} = +6 \quad [\text{Mg}^{++}] \quad \text{Substitución Isomórfica}$$

$$2 \text{ O}^{2-} + 1 \text{ OH}^{-} = -5$$

$$2 \text{ Si}^{++++} = +8$$

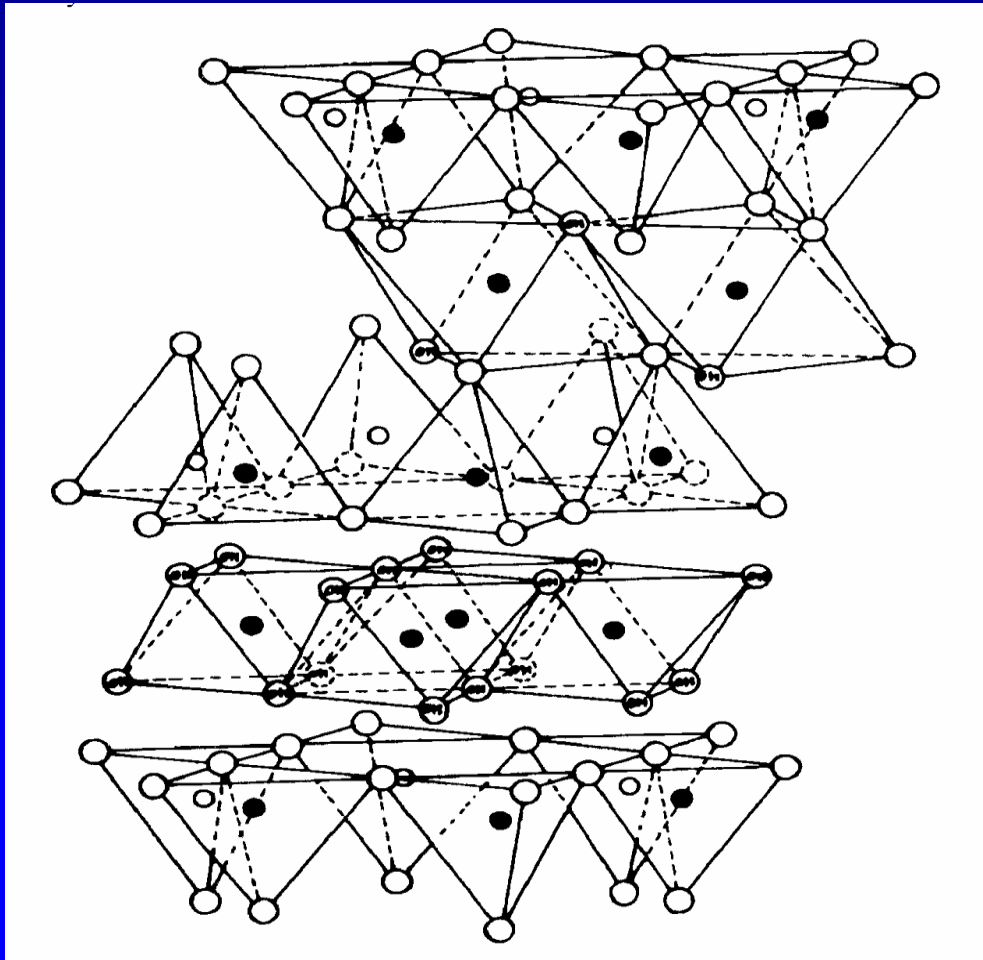
$$3 \text{ O}^{2-} = -6$$

$$\boxed{-22 y + 22}$$





# Minerales arcillosos del Grupo 2:1:1

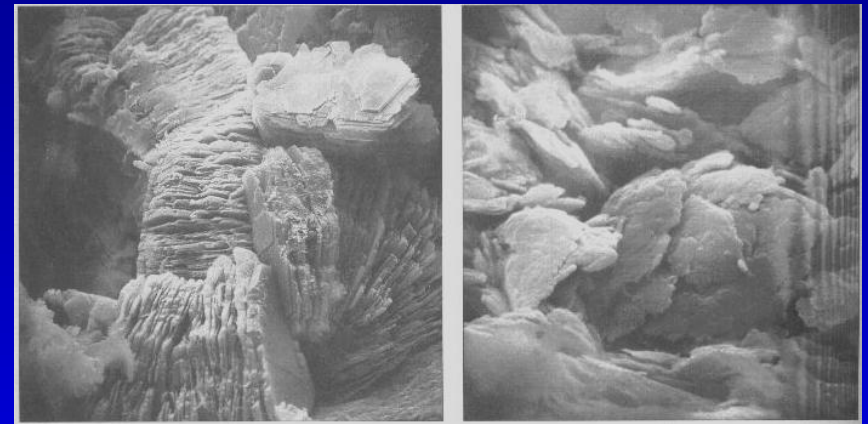


Son filosilicatos de estructura similar a las micas con sustitución del K<sup>+</sup> por el Mg<sup>2+</sup> más una lámina de hidróxido que puede ser brucita ( $\text{Al}_2\text{Mg}_4(\text{OH})_{12}$ ) o gibsita ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ). La secuencia de estos minerales es: T-O-HO-T-O-T. La inclusión de las láminas de hidróxido entre las interláminas negativas del mineral restringen su expansibilidad, lo que hace disminuir su área superficial y su CIC.

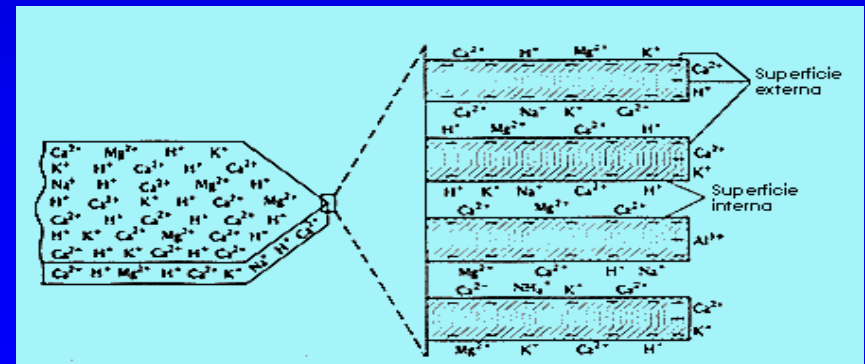
# Importancia de las Arcillas

## 1. Edafológica:

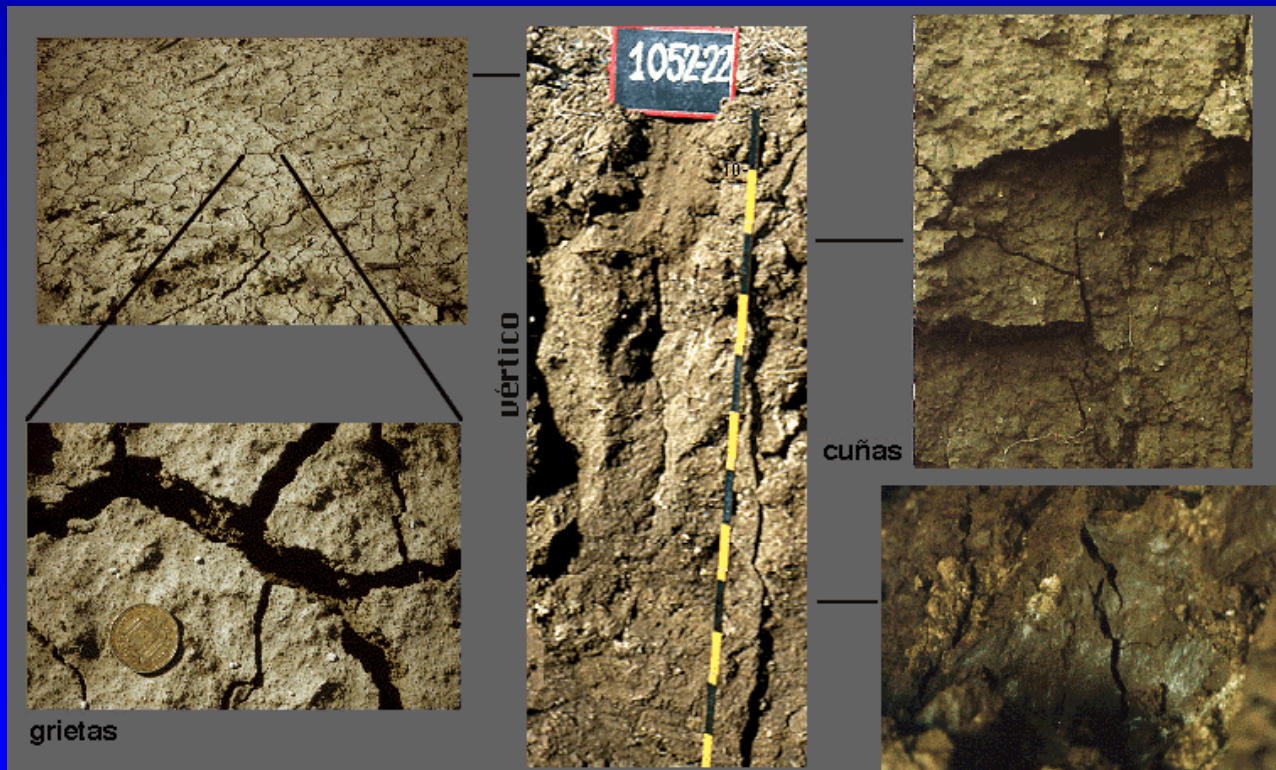
Las arcillas por presentar carga negativa y en menor extensión positiva



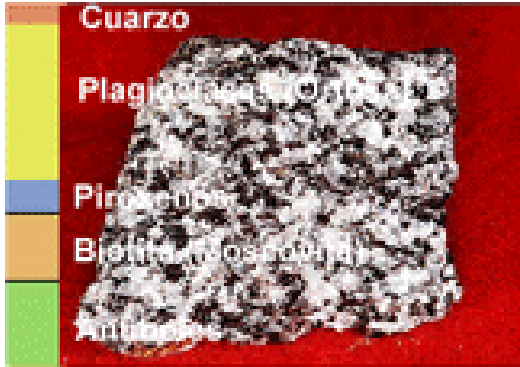
Pueden retener cationes y aniones, dentro de los cuales se presentan los principales nutrientes tales como: Ca, Mg, K,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{PO}_4$ ,  $\text{SO}_4$ .



- Debido a sus características de expansión y contracción, las arcillas influyen en las características físicas del suelo (macro y microporosidad), permeabilidad, infiltración, capacidad de aire, densidad.



- Fertilidad Potencial esta relacionada con el tipo de arcilla y la relación de estos minerales con su medio de formación

Roca neutra		Arcilla	CIC	Bases	Saturación	pH
	Cuarzo	→ Ninguna	Nula	Ninguna	Media	Neutro
	Plagioclasa	→ Ilita (Caolinita)	Media	Na, Ca (K)		
	Piróxeno	→ Vermiculita, Esmectitas	Alta	Todas		
	Biotita	→ Vermiculita (Ilita)	Media (Alta)	Mg (K)		
	Anfíbol	→ Vermiculita, Esmectitas	Alta	Todas		

## Roca ácida



	Arcilla	CIC	Bases	Saturación	pH
→	Ninguna	Nula	Ninguna		
→	Caolinita (Ilita)	Baja	K (Ca,Na)	Baja	Ácido
→	Ilita (Vermiculita)	Media	K (Mg)		

## Roca básica



	Arcilla	CIC	Bases	Saturación	pH
→	Esmectitas, Vermiculita	Alta	Todas		
				Alta	Básico
→	Esmectitas, Vermiculita	Alta	Mg		

# Propiedades más importantes de las arcillas

---

Propiedad	Monmorillonita	Vermiculita	Caolinita
<b>CIC</b> (meq/100g arcilla) cmol/Kg	80 - 150	100 - 150	3 - 10
<b>Superficie Externa</b> (m <sup>2</sup> /g)	80 - 140	70 - 120	10 - 30
<b>Superficie Interna</b> (m <sup>2</sup> /g)	1.0 - 2.0	1.0 - 1.5	0.7
<b>Carga Negativa</b>	Sustitución isomorfica Carga dependiente del pH		Carga dependiente del pH
<b>Capacidad de expansión</b>	Alta		Ninguna

---

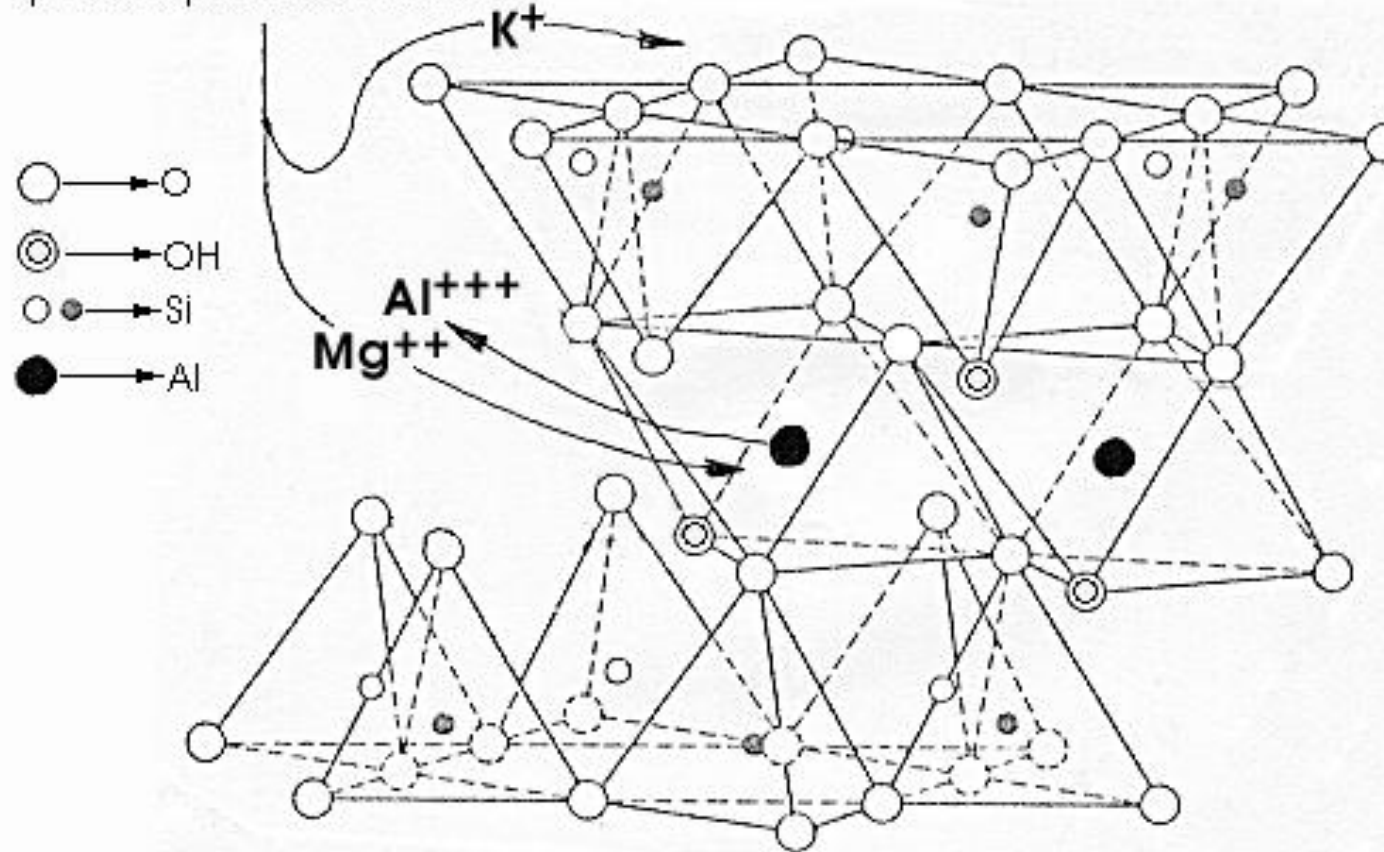
# Origen de las Cargas Negativas en las Arcillas

- Sustituciones Isomórficas
- Ruptura de aristas
- Disociación de los OH en las capas basales
- Enlaces de Van der Waals.



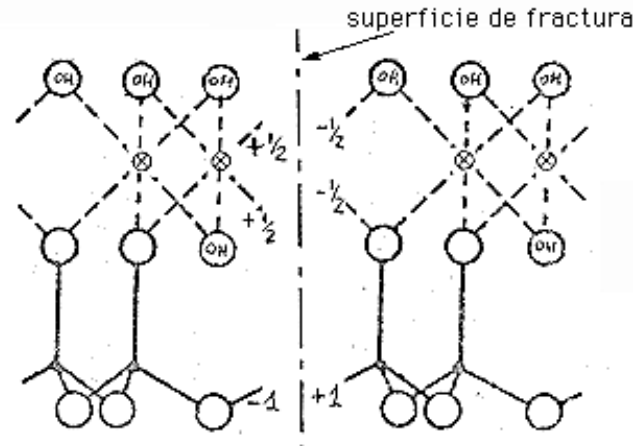
# Sustitución Isomorfica

El aluminio dioctaédrico abandona la estructura del mineral y al ser sustituido por un magnesio se crea un déficit de carga que atrae a un catión monovalente que queda en posición de cambio.

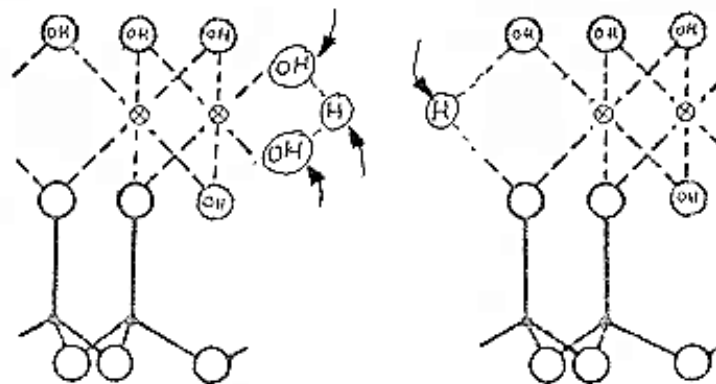




# Ruptura de aristas

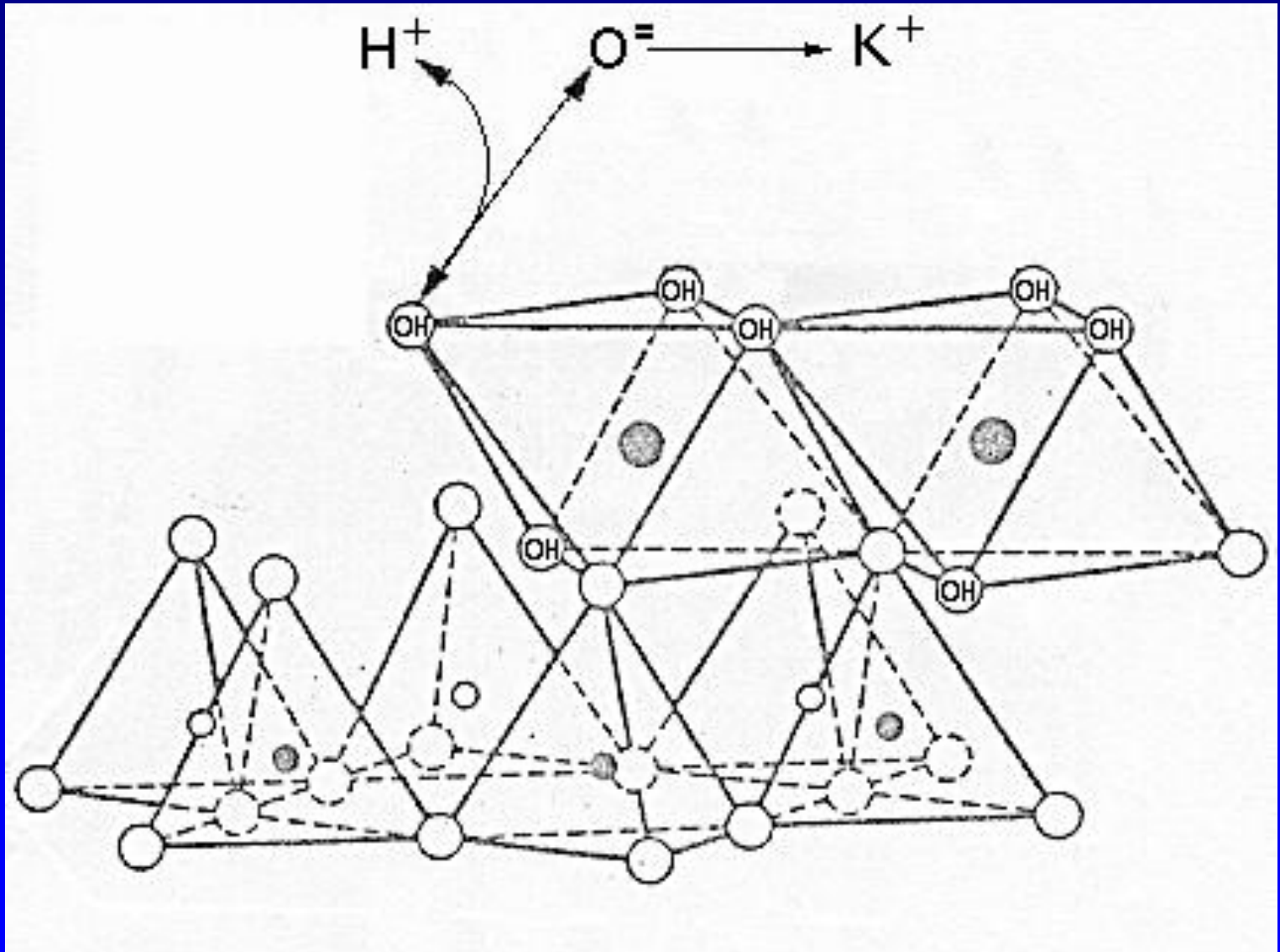


Las superficies de los minerales son áreas de desequilibrios eléctricos (un ión del interior del mineral se encuentra equilibrado, pero un ión del borde no lo estará al no estar completamente rodeado de iones del signo contrario). Por ejemplo si fracturamos un mineral del tipo de la caolinita se crean unos déficit en la superficie de fractura.



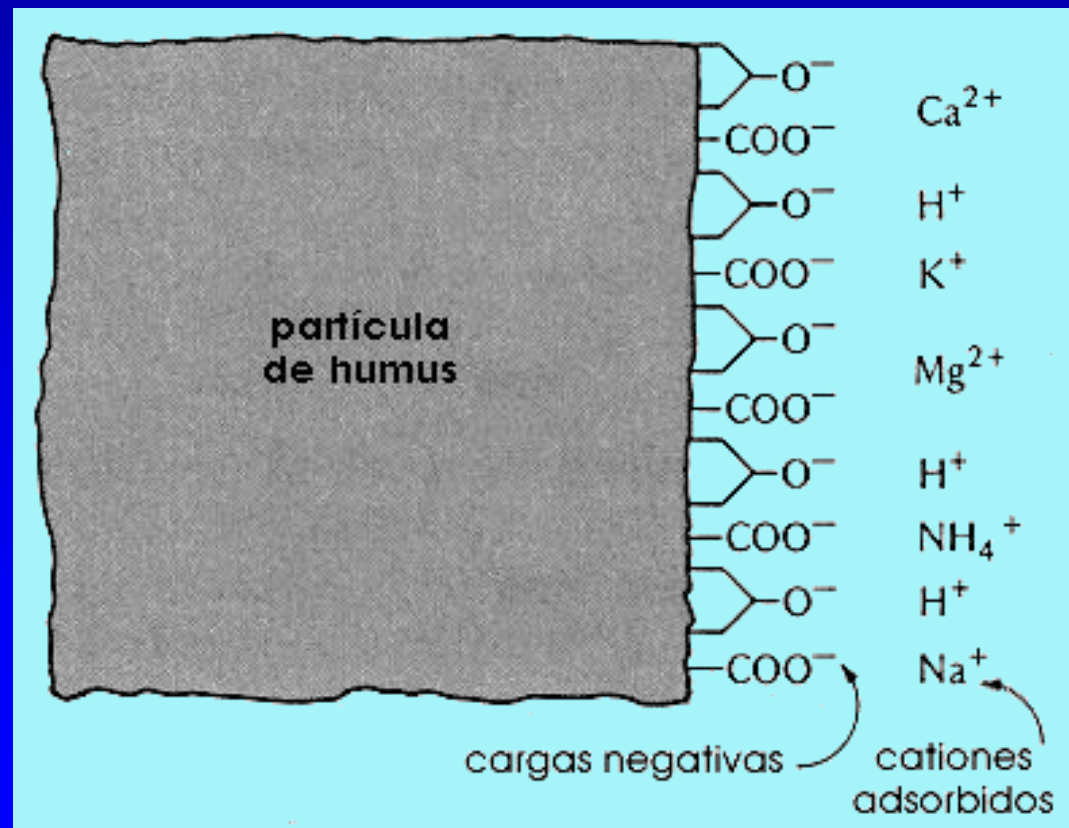
Estos déficit atraen a iones para neutralizar y quedan en posición de cambio.

# Disociación de los OH en las capas basales



## Las causas de la capacidad de cambio de materia orgánica son:

- Disociación de los OH.
- Disociación de los COOH.



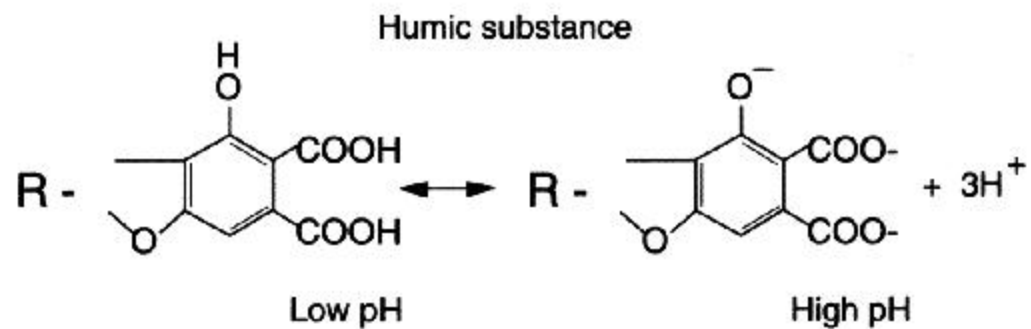
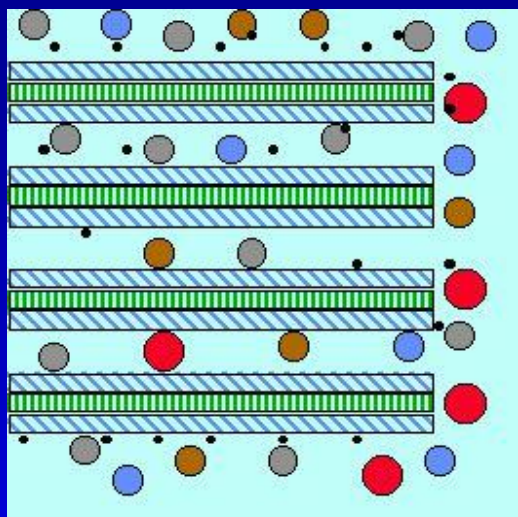


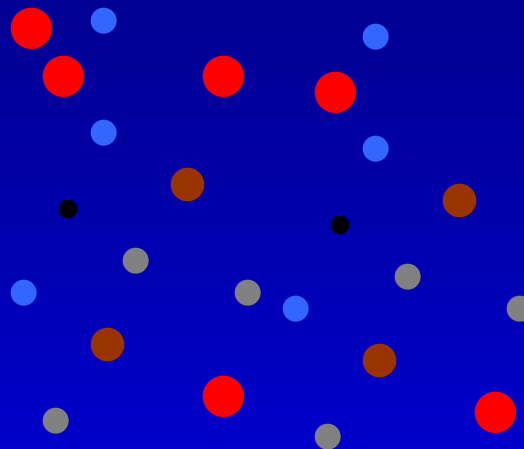
Fig. 6.10. Impact of soil pH on net charge of organic acids

# Capacidad de intercambio iónico

- Son procesos reversibles por los cuales las partículas sólidas del suelo adsorben iones de la fase acuosa liberando al mismo tiempo otros iones en cantidades equivalentes, estableciéndose el equilibrio entre ambas fases.



Arcilla



Solución del Suelo

•	●	●	●	●
$H^{+}$	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$K^{+}$	$Na^{+}$

## Según el tipo de iones que se intercambien

- Cambio de cationes:



- Cambio de aniones:



- El proceso es dinámico se desarrolla en la superficie de las partículas.
- Como los iones adsorbidos quedan en posición asimilable constituyen la reserva de nutrientes para las plantas.
- Las causas que originan el intercambio iónico son los desequilibrios eléctricos de las partículas del suelo.
- Para neutralizar las cargas se adsorben iones, que se pegan a la superficie de las partículas.
- Quedan débilmente retenidos sobre las partículas del suelo y se pueden intercambiar con la solución del suelo.



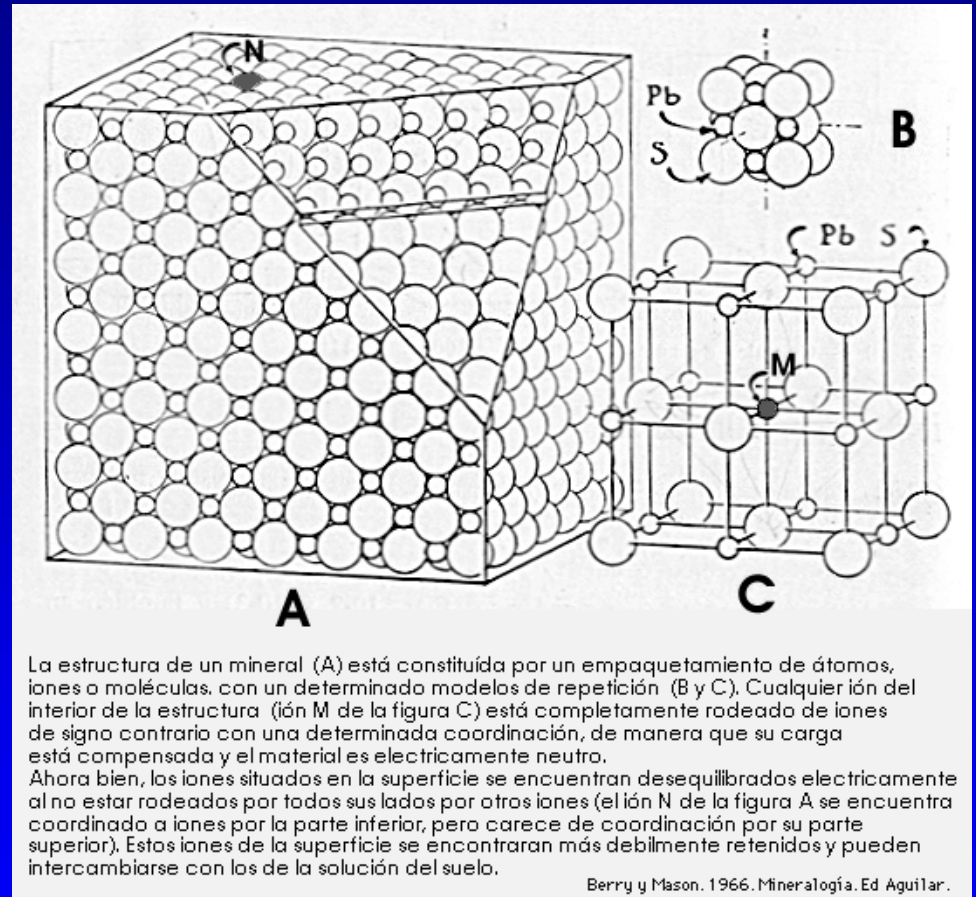
# Teorías del intercambio iónico.

- Red Cristalina
- Doble Capa Eléctrica
- Membrana Semipermeable

# Red Cristalina

Considera las partículas de los minerales como sólidos iónicos.

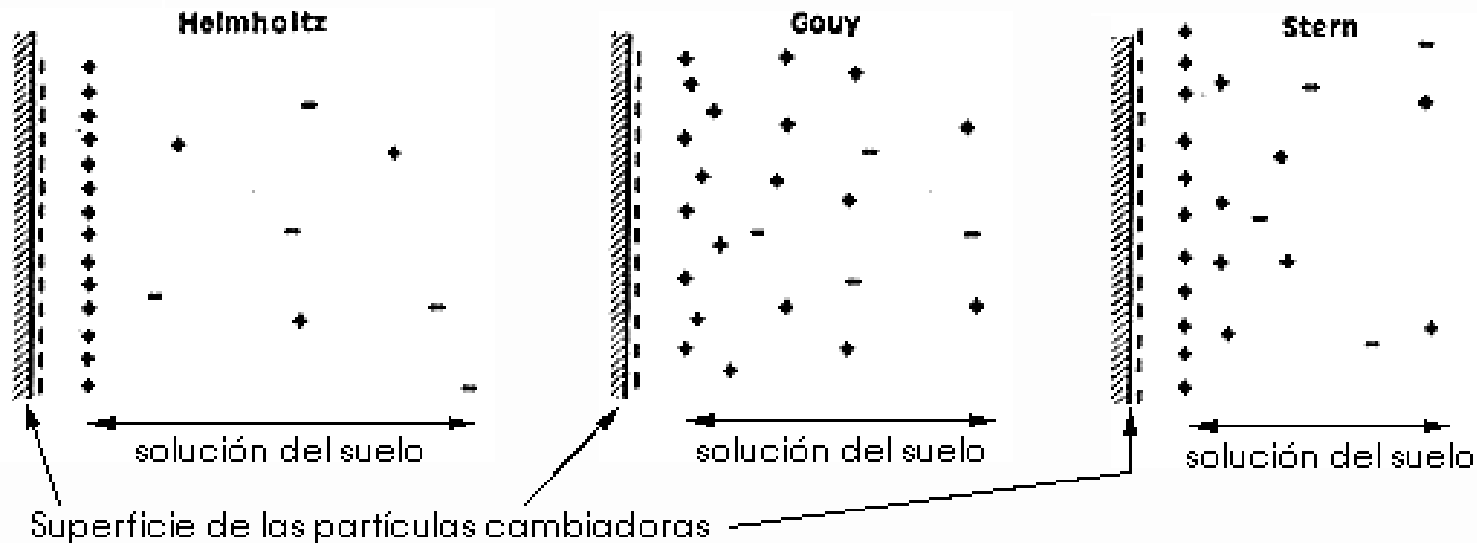
Los iones de los bordes están débilmente retenidos por lo que pueden abandonar la estructura y pueden cambiarse con los de la solución del suelo.



# Capa Doble Difusa

- Considera el contacto entre el sólido y la fase líquida como un condensador plano.
- Entre el metal (el sólido) y el electrolito (la disolución) existe una diferencia de potencial que atrae a los iones de la solución del suelo.
- Se forma una doble capa eléctrica formada por los iones del sólido y los atraídos en la solución.

## Teorías de la doble capa



### **Helmholtz.**

#### **Doble capa rígida.**

Los iones de la solución del suelo son fuertemente atraídos sobre la superficie descompensada de las partículas, formando una capa rígida de signo contrario al de la superficie de las partículas.

### **Gouy.**

#### **Capa difusa.**

Los iones de la solución del suelo son atraídos sobre la superficie descompensada de las partículas formando una nube. Los iones son más fuertemente retenidos conforme están más próximos a las partículas.

### **Stern.**

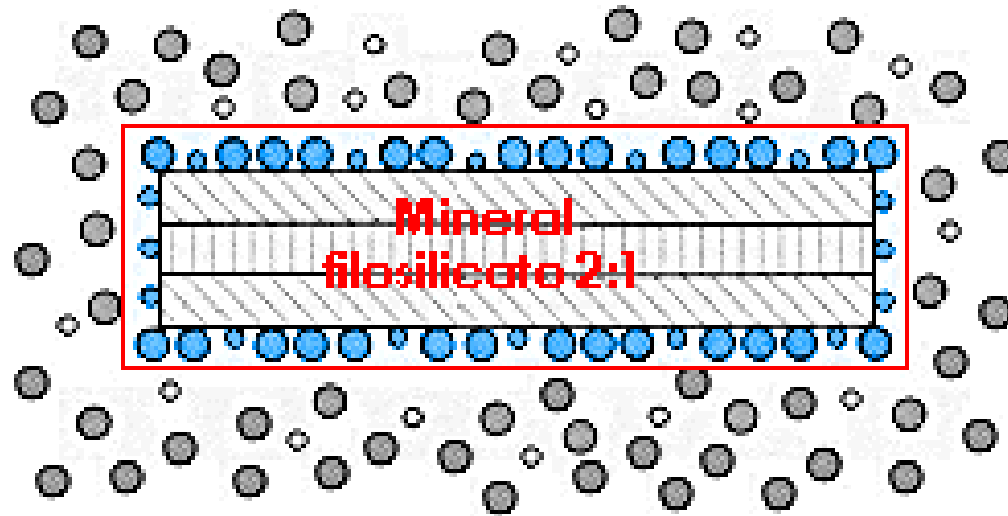
#### **Capa rígida y difusa.**

Los iones de la solución del suelo son atraídos sobre la superficie descompensada de las partículas. Los inmediatamente próximos son fuertemente retenidos, formando una capa rígida, mientras que los más alejados quedan menos retenidos, formando una nube.

# Membrana Semipermeable

La interfase sólido-líquido actúa como una membrana semipermeable que deja pasar los iones de la solución y a los de la superficie de las partículas pero no a los del interior de los materiales.

# Membrana Semipermeable



- iones adsorbidos
- iones en solución
- membrana semipermeable

La interfase sólido / líquido actúa como una membrana semipermeable que deja pasar a los iones de la solución y a los adsorbidos en la superficie de las partículas sólidas, pero no a los situados en el interior del material.

Básicamente las tres teorías son compatibles y simplemente se trata de enfoques distintos:

- Iones débilmente retenidos para la teoría cristalina.
- Desequilibrios eléctricos para la teoría de la doble capa eléctrica.
- Diferentes concentraciones para la teoría de la membrana semipermeable.

# Capacidad de cambio de cationes

- Es el más importante, y mejor conocido.
- En el suelo son varios los materiales que pueden cambiar cationes.
- Los principales cambiadores son las arcillas y la materia orgánica (los dos materiales presentan propiedades coloidales).



# Importancia de la capacidad de cambio

- Controla la disponibilidad de nutrientes para las plantas:  $K^+$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Ca^{++}$ , entre otros.
- Interviene en los procesos de floculación - dispersión de arcilla y por consiguiente en el desarrollo de la estructura y estabilidad de los agregados.
- Determina el papel del suelo como depurador natural al permitir la retención de elementos contaminantes incorporados al suelo.

$$\text{CICT} = \text{CIC FO} + \text{CIC FM}$$

CICT puede ser expresada en meq /100g o en cmol/kg

**CIC FO** = Capacidad de intercambio Catiónico de la fracción orgánica

$$\text{CICFO} = 2 (\% \text{ MO})$$

**CIC FM** = Capacidad de intercambio Catiónico de la fracción mineral.

$$\frac{\text{CIC}_T / 100 \text{ gsuelox} 100}{\% \text{ arcilla}} = \text{CICt} - 2 (\% \text{ MO}) = \text{CIC FM meq/100ga}$$

# Saturación de Bases

$$CIC\ E = BC + AC = (Ca + Mg + K + Na) + (H + Al)$$

BC = Bases cambiabile

AC = Acidez cambiabile

$$SB\% = \frac{\sum Ca + Mg + K + Na}{CIC} \times 100$$

$$SBCa\% = \frac{Ca}{CIC} \times 100$$

Ca, Mg, K, Na y CIC = meq/100gs o cmol(+) /kg

SB = Saturacion con bases (%)

## Interpretacion:

Baja CIC	menos de 10 meq/100gs
Mediana CIC	entre 10 y 20 meq/100gs
Alta CIC	entre 20 y 30 meq/100gs
Muy alta CIC	superiores a 30 meq/100gs

medios acidos :  $Al + H > BC$

normal (6.5 – 7.5) :  $Ca > Mg > K > Na$

pH fuertemente alcalino  $Na \text{ y } Mg > Ca \text{ y } K$

Cuadro 12. Relación entre los cationes básicos, el PSB y el grado de fertilidad de varios suelos de los Llanos Occidentales.

Nivel de fertilidad	Cationes intercambiables meq/100g						
	CIC suma (meq/100g)	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	PSB	pH
ALTO (Serie Fanfurria)	23,0	14,5	2,4	0,6	0,1	77	6,3
MEDIO (Serie Veguita)	16,7	9,0	2,1	0,1	0,5	70	6,0
BAJO (Serie Barinas)	11,5	3,8	1,7	0,1	0,1	50	5,6

(Adaptado de: Pinto, 1981).

**Cuadro 14.** Características químicas en los dos primeros horizontes en suelos de los llanos occidentales, con arcillas de alta actividad (planicies aluviales en llanuras y valles de piedemonte).

Serie (orden)	PROFUNDI- DAD (cm)	pH KCL 1:1	CIC (meq/100)	SUMA DE BASES (meq/100g)	PSB	PCO	TEX
Toruno (Molisol)	0-25	5,60	27,27	21,27	77,99	3,42	FA
	25-45	5,75	14,33	11,33	79,06	0,61	FAL
Portuguesa (Inceptisol)	0- 5	5,50	25,66	20,22	78,79	1,88	AL
	5-30	5,20	19,58	14,62	74,76	1,43	AL
Baronero (Inceptisol)	0-12	6,25	21,39	19,41	89,94	2,62	F
	12-30	4,90	14,41	9,66	67,03	1,00	F
Fanfurria (Inceptisol)	0-27	6,85	14,49	14,48	99,93	1,44	FL
	27-64	6,20	12,00	11,94	99,50	0,66	F
Guanare (Inceptisol)	0-20	5,40	14,71	12,99	89,30	0,92	FAL
	20-39	5,25	13,77	12,27	89,10	0,68	FAL
Morita (Inceptisol)	0-20	5,25	37,33	24,83	66,51	2,38	A
	20-55	5,15	18,43	10,83	58,76	0,90	FAL

(Adaptado: Pérez *et al.* 1968; Zinck y Stagno, 1966; Granado y Stagno, 1968; Schargel 1970).

Cuadro 8. Cationes intercambiables, capacidad de intercambio catiónico, porcentaje de saturación base y pH en los diferentes horizontes, de las series Barinas y Fanfurria.

Cationes intercambiables meq /100g										
Serie	Profundidad (cm)	Textura	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Acidez Total meq/100g	CIC suma	PSB	pH 1:1
Barinas (Alfisol)	0-24	Fa	3,8	1,7	0,1	0,1	5,8	11,5	50	5,6
	24-54	FAa	2,6	1,4	0,1	0,6	5,0	9,7	48	5,7
	54-110	FAa	3,0	1,8	0,1	1,0	1,5	7,4	80	7,2
Fanfurria (Incepti- sol)	0-16	FAL	14,5	2,4	0,6	0,1	5,4	23,0	77	6,3
	16-32	FAL	13,4	2,5	0,2	0,1	3,9	20,1	81	7,3
	32-58	FL	11,3	1,9	0,1	0,1	3,1	16,5	81	7,6
	58-74	FL	10,4	1,2	0,1	0,1	2,3	14,1	84	7,7
	74-100	FL	27,6	0,9	0,1	0,1	0,6	29,3	98	8,1

(Adaptado de: Pérez *et al.* 1968; Delgado, 1985).