

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:

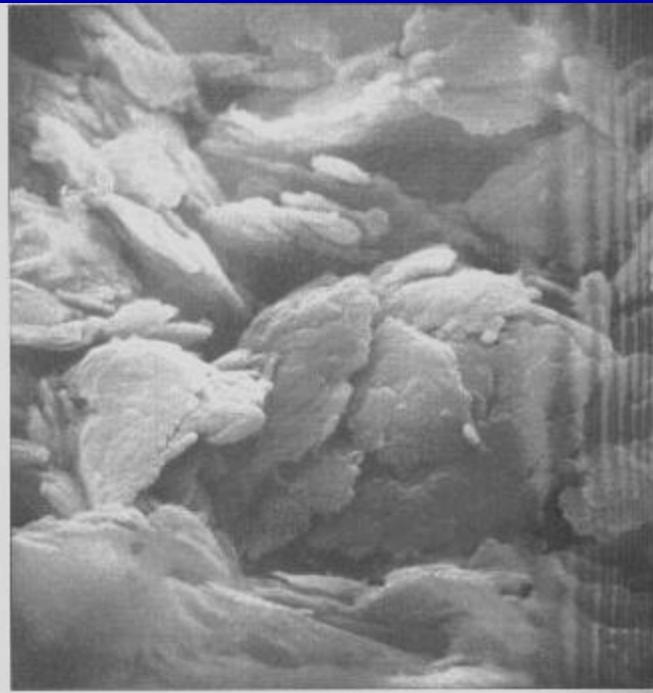
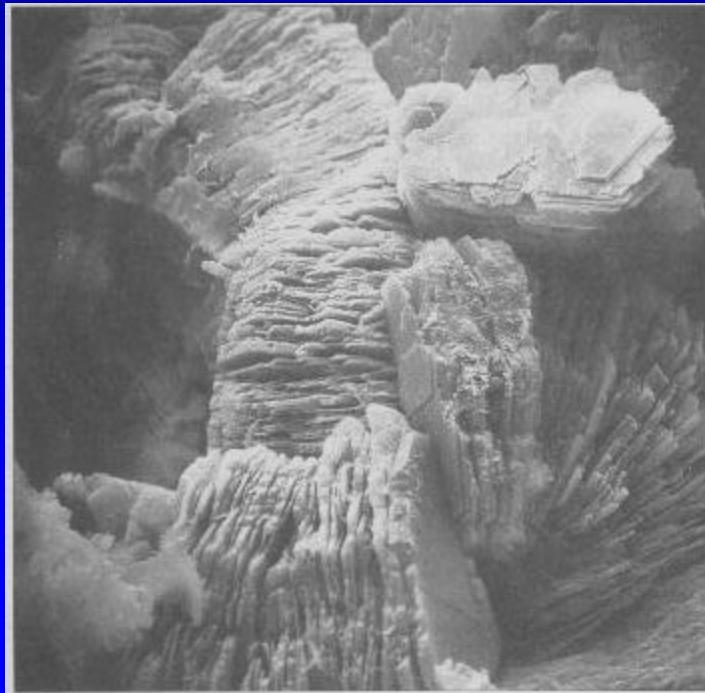
Las arcillas, el humus, la sílice (coloides electronegativos), el aluminio y el hierro (coloides electropositivos).

Propiedades de los Coloides

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

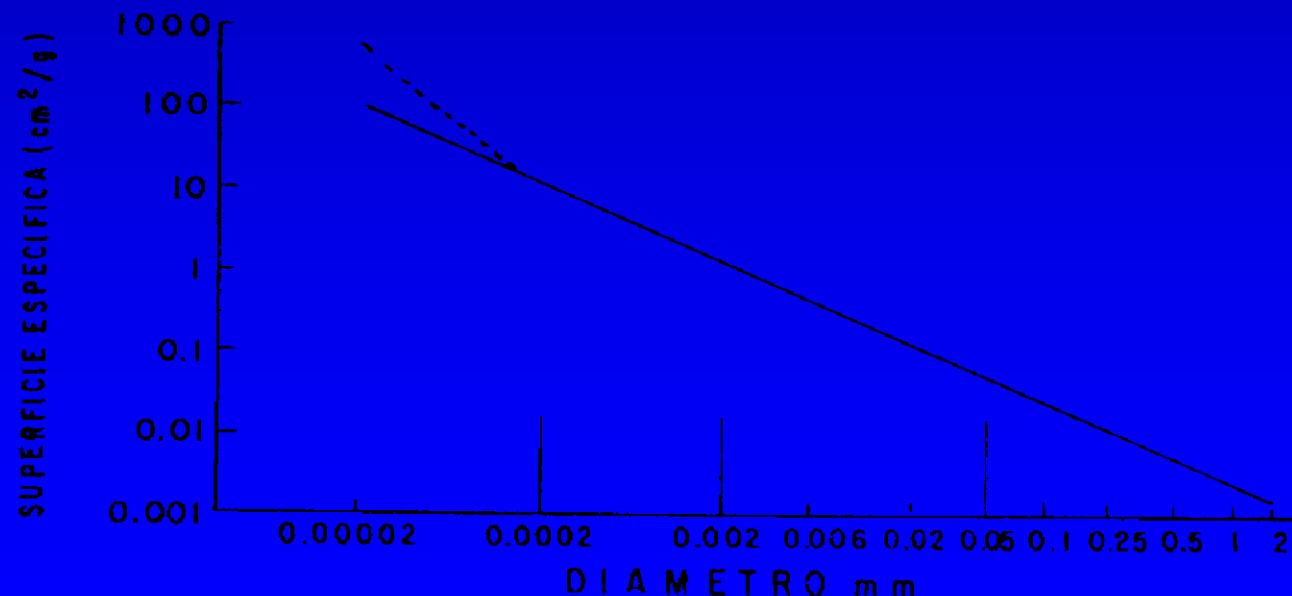
Tamaño:

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



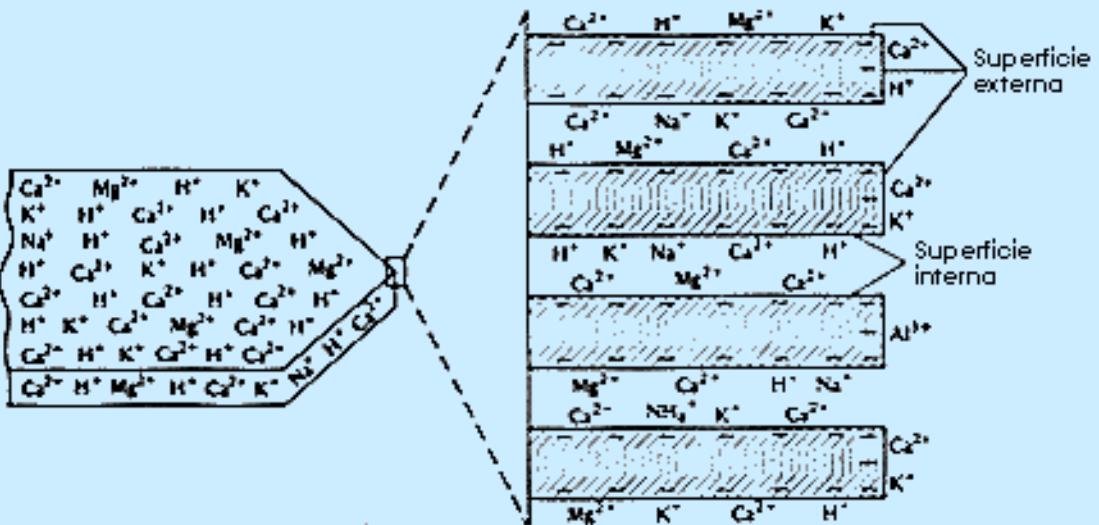
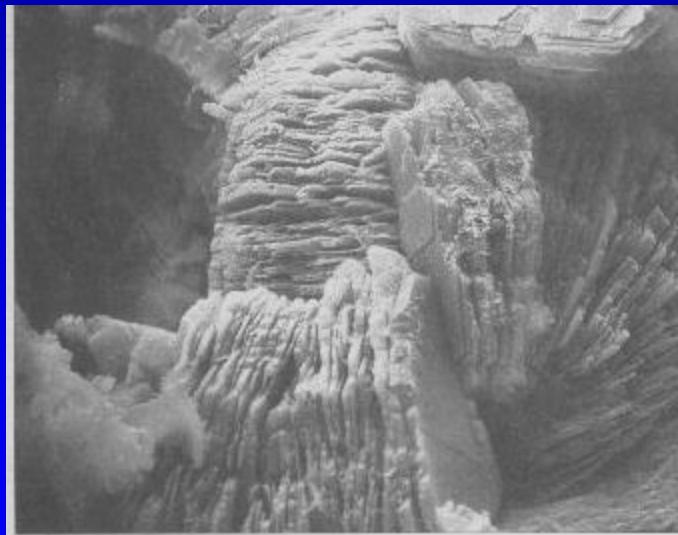
Área superficial:

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

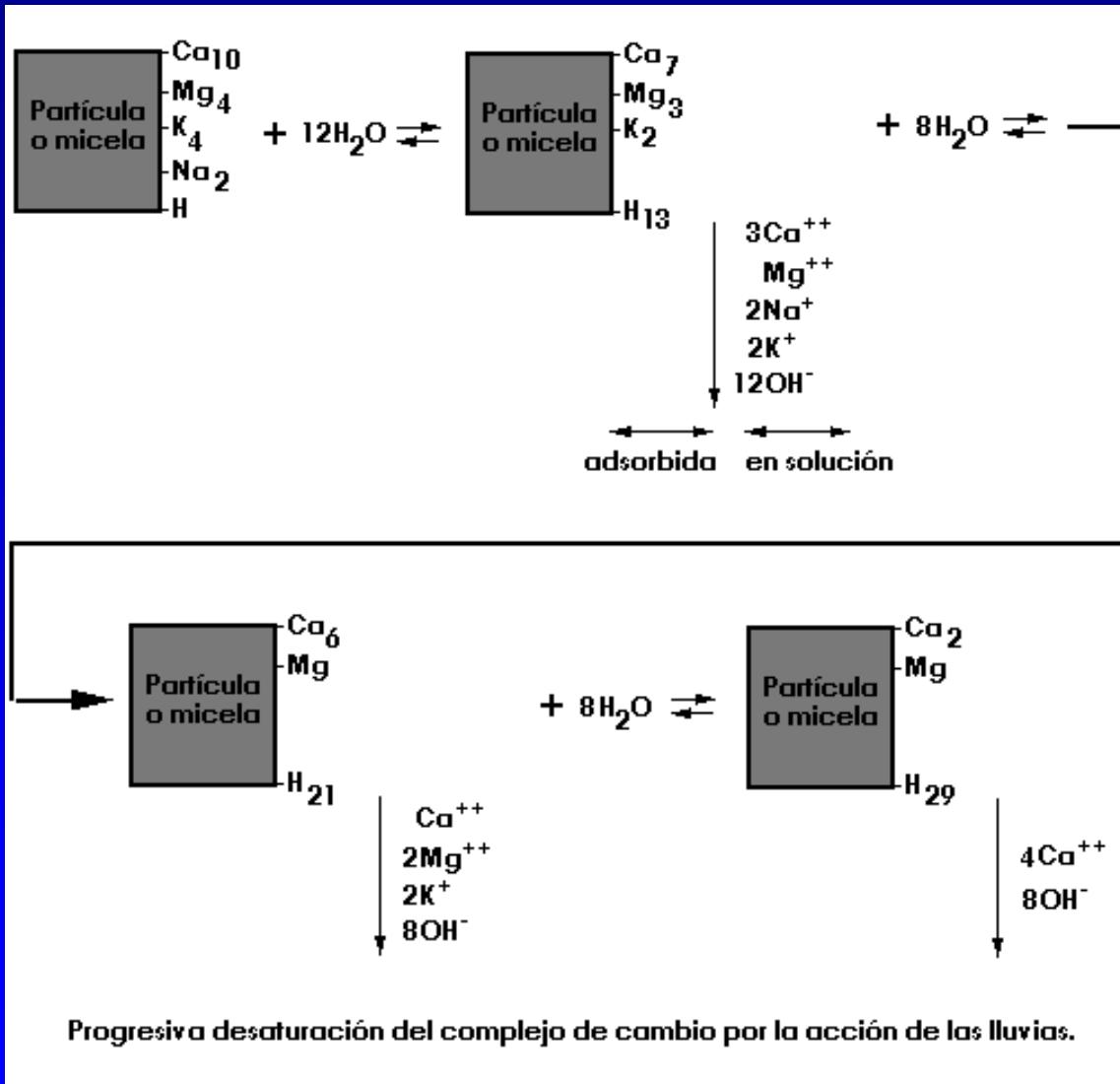


Cargas de las superficies

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



Alteración

Minerales Secundarios
(Arcillas)



Alteración y Liberación de elementos

Minerales Secundarios
(Arcillas)



Liberación de elementos

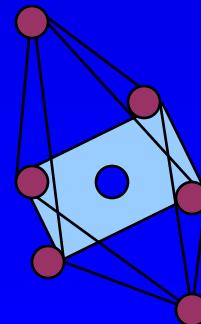
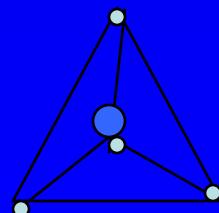
Óxidos de Hierro y Aluminio

Liberación de elementos

Arcillas

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

- Oxígeno
- Silicio

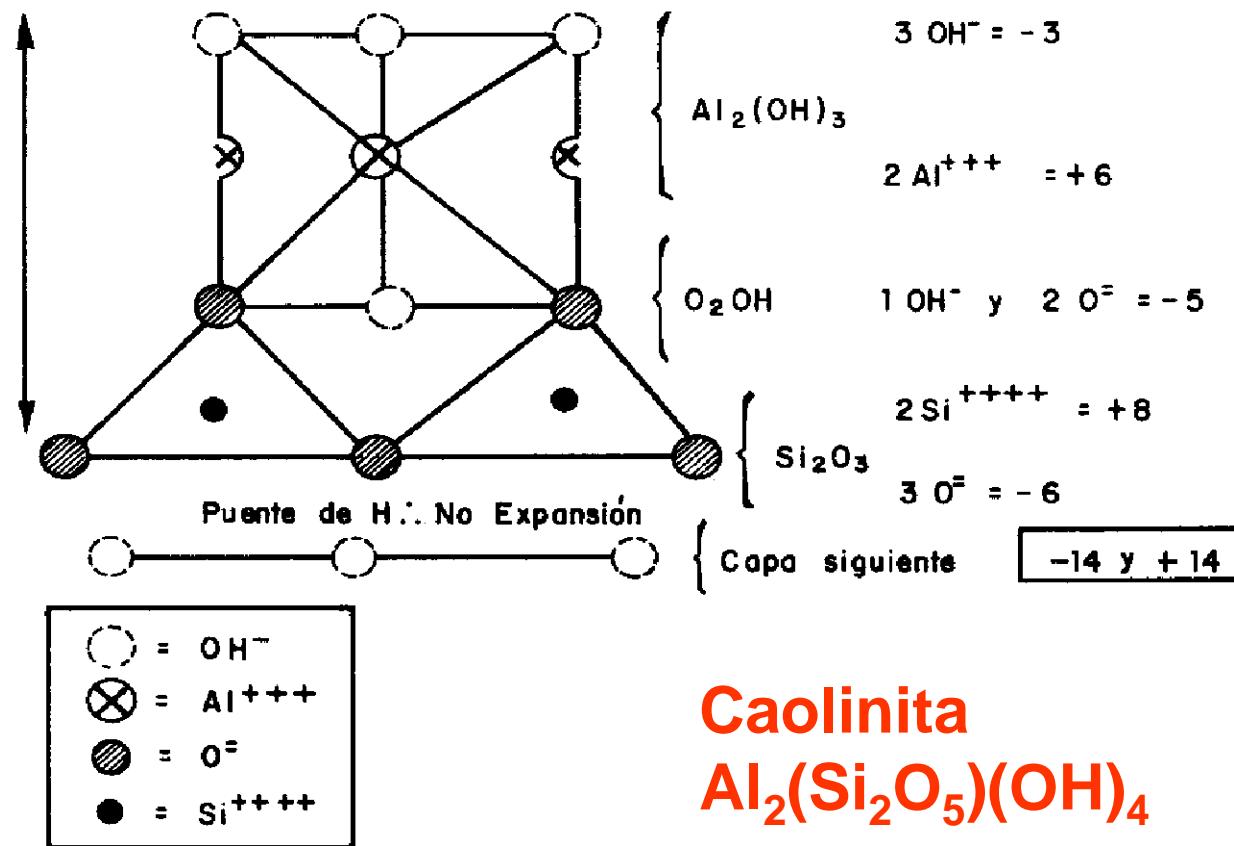


- Aluminio
- OH

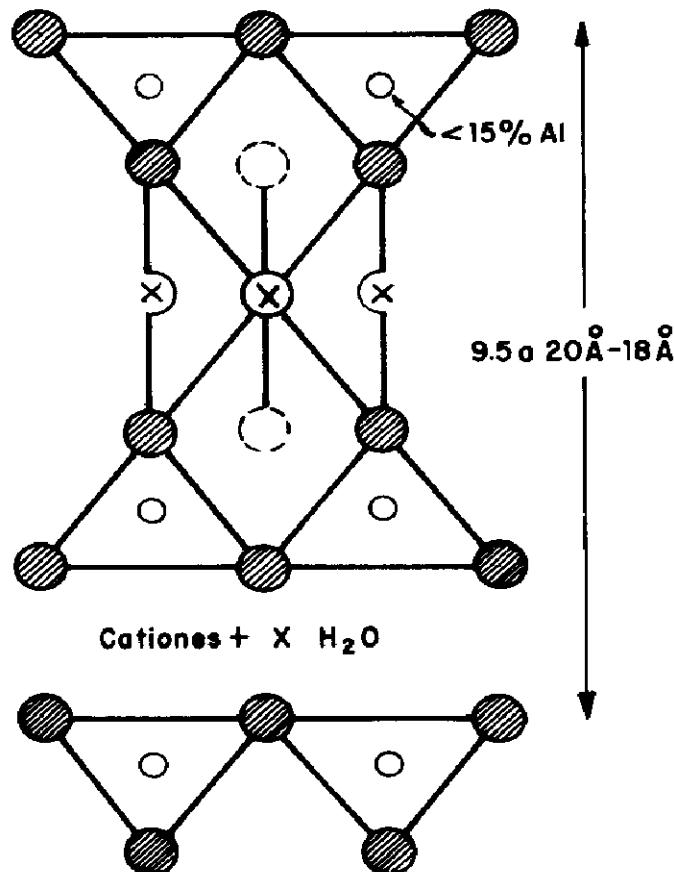
Minerales Arcillosos

- 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



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

2 Si⁺⁺⁺ = +8 (La substitución del silicio es < del 15%)

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

2 Al⁺⁺⁺ = +6 [Mg⁺⁺] Substitución Isomórfica

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

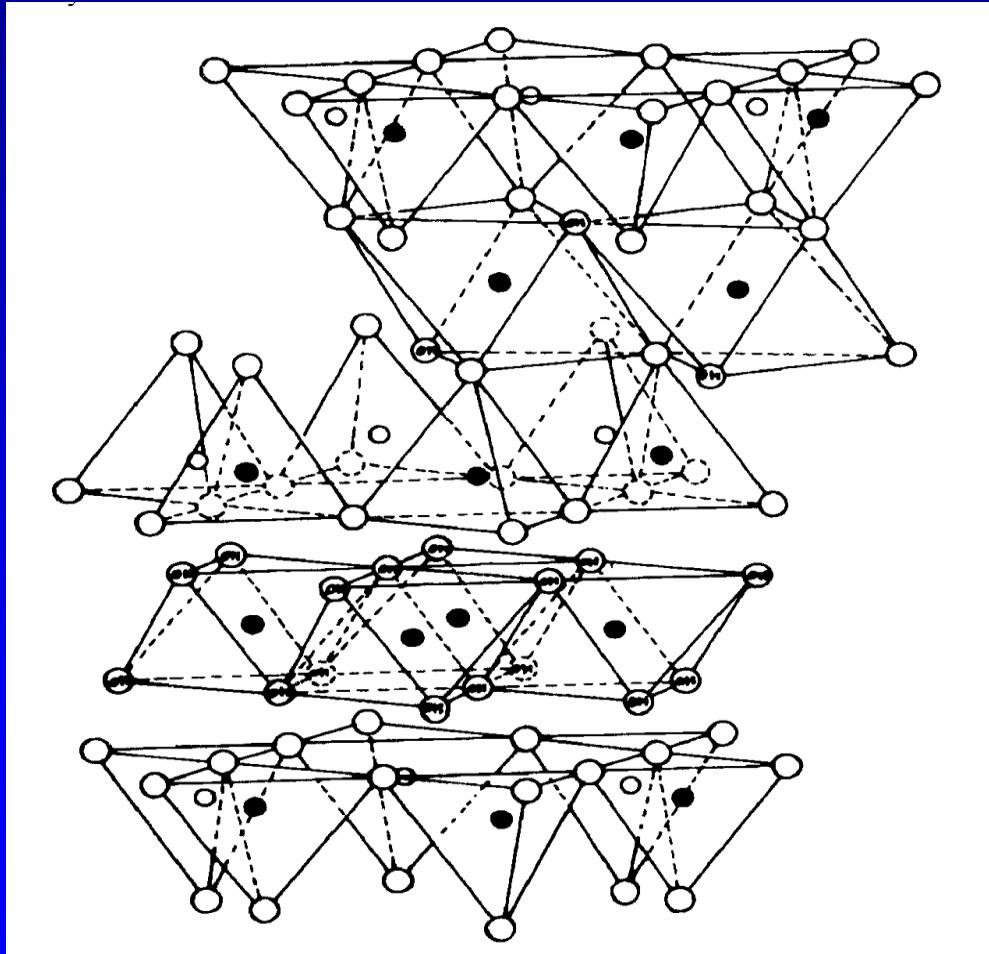
$$2 \text{ Si}^{+++} = +8$$

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

-22 y +22

Monmorillonita
Al₄(Mg)(Si₈O₂₀)(OH)_{4x}H₂O

Minerales arcillosos del Grupo 2:1:1

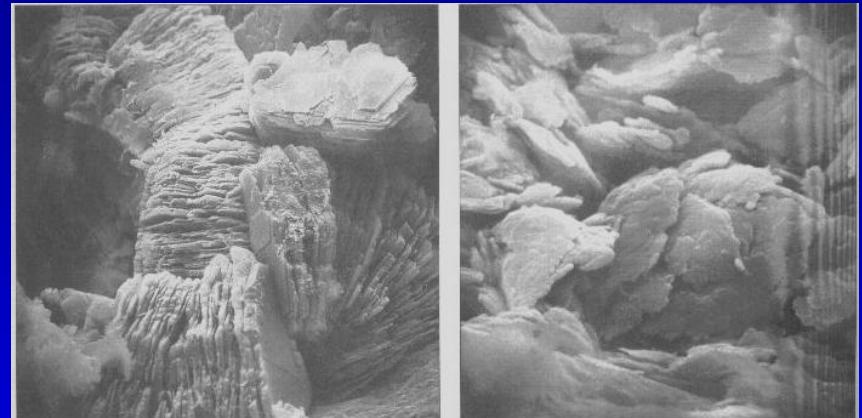


Son filosilicatos de estructura similar a las micas con sustitución del K⁺ por el Mg²⁺ más una lámina de hidróxido que puede ser brúcita ($\text{Al}_2\text{Mg}_4(\text{OH})_{12}$) o gibsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$). La secuencia de estos minerales es: T-O-HO-T-O-T. La inclusión de las láminas de hidróxido entre las interláminas negativas del mineral restringuen su expansibilidad, lo que hace disminuir su área superficial y su CIC.

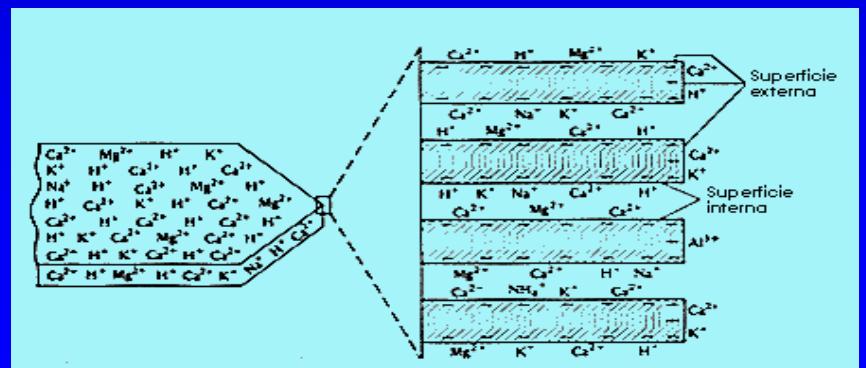
Importancia de las Arcillas

1. Edafológica:

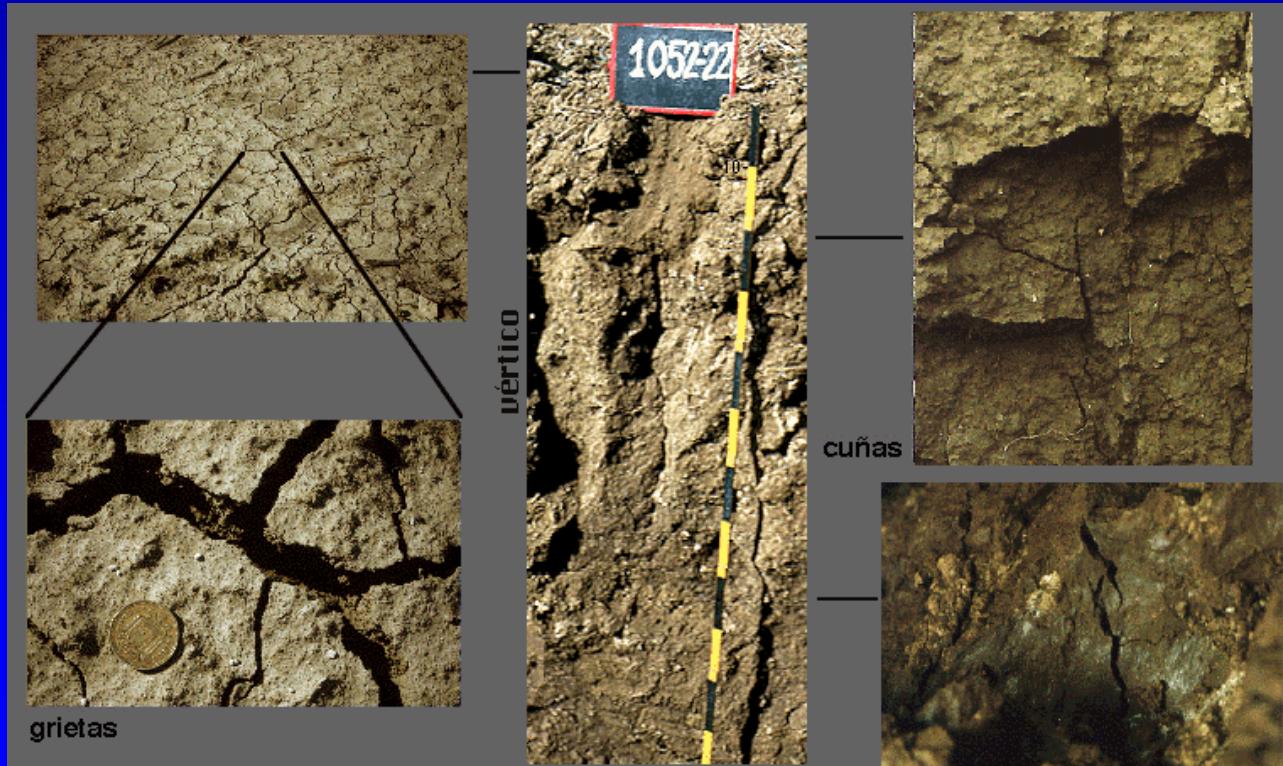
Las arcillas por presentar carga negativa y en menor extensión positiva



Pueden retener cationes y aniones, dentro de los cuales se presentan los principales nutrientes tales como: Ca, Mg, K, NH₄, PO₄, SO₄.



- 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		
Plagioclasa	Illita (Caolinita)	Media	Na, Ca (K)		
Piroxeno	Vermiculita, Esmectitas	Alta	Todas	Media	Neutro
Biotita	Vermiculita (Illita)	Media (Alta)	Mg (K)		
Amfibolito	Vermiculita, Esmectitas	Alta	Todas		

Roca ácida



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

Roca básica



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

Propiedades más importantes de las arcillas

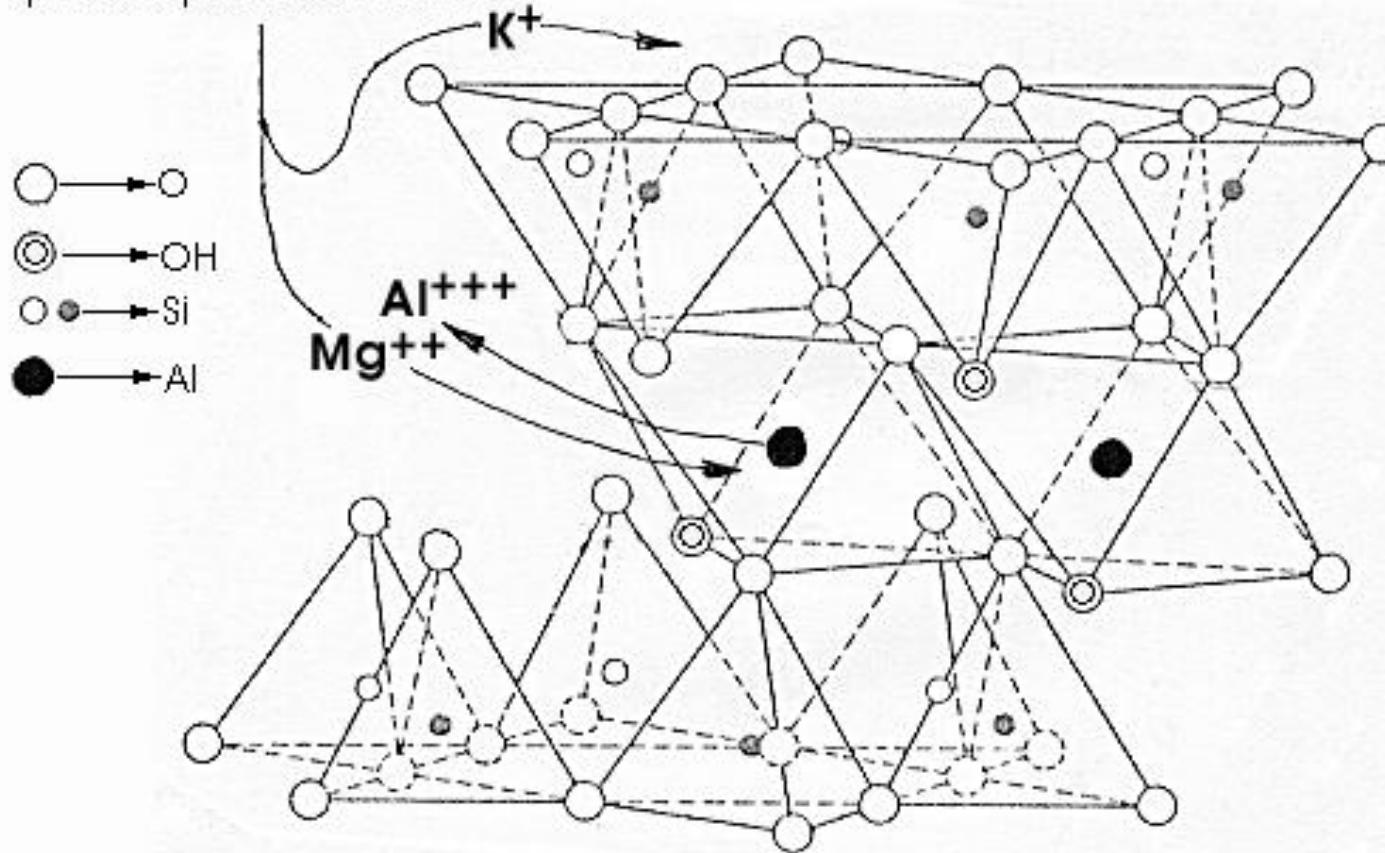
Propiedad	Monmorillonita	Vermiculita	Caolinita
CIC (meq/100garcilla) cmol/Kg	80 - 150	100 -150	3 - 10
Superficie Externa (m ² /g)	80 - 140	70 - 120	10 - 30
Superficie Interna (m ² /g)	1.0 - 2.0	1.0 - 1.5	0.7
Carga Negativa	Sustitución isomorfica Carga dependiente del pH	Carga dependiente del pH	
Capacidad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

Origen de las Cargas Negativas en las Arcillas

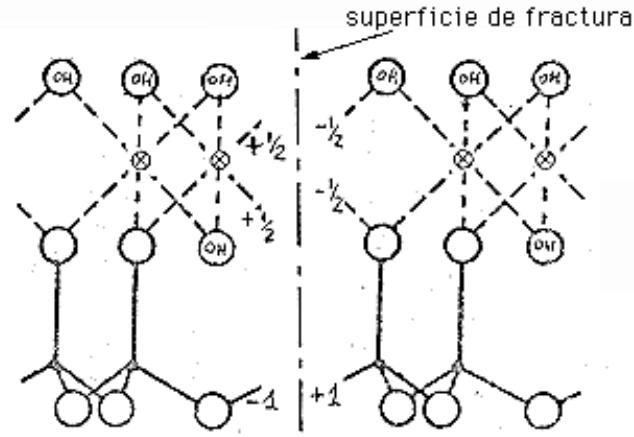
- Sustituciones Isomórficas
- Ruptura de aristas
- Disociación de los OH en las capas basales
- Enlaces de Van der Waals.

Sustitución Isomórfica

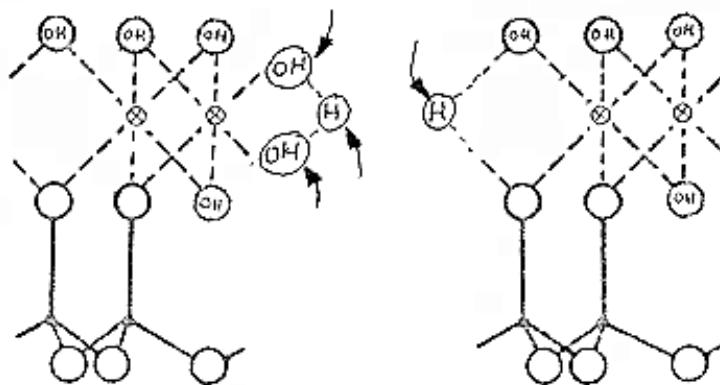
El aluminio dioctaédrico abandona la estructura del mineral y al ser sustituido por un magnesio se crea un déficit de carga que atrae a un catión monovalente que queda en posición de cambio.



Ruptura de aristas

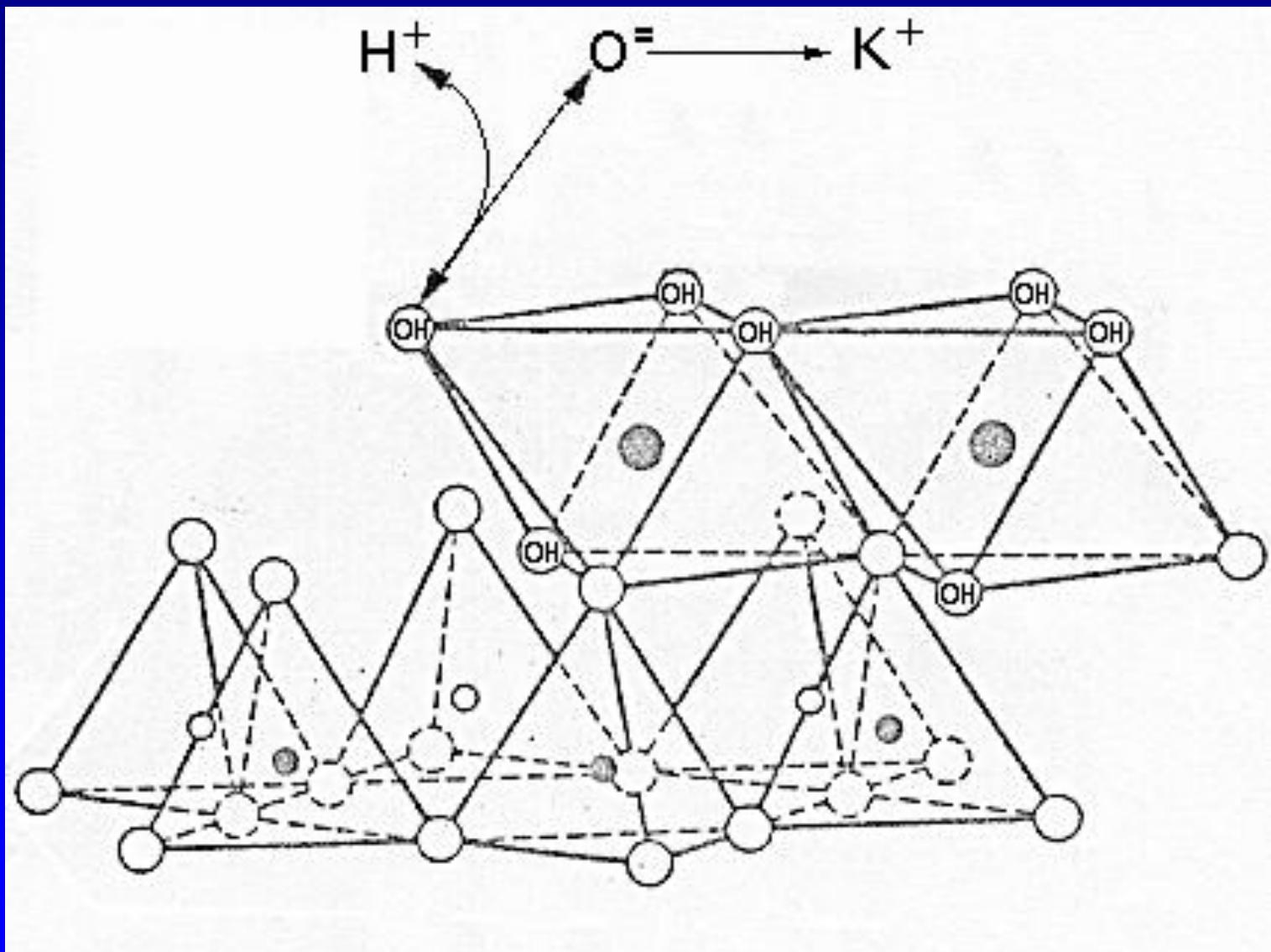


Las superficies de los minerales son áreas de desequilibrios eléctricos (un ión del interior del mineral se encuentra equilibrado, pero un ión del borde no lo estará al no estar completamente rodeado de iones del signo contrario). Por ejemplo si fracturamos un mineral del tipo de la caolinita se crean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



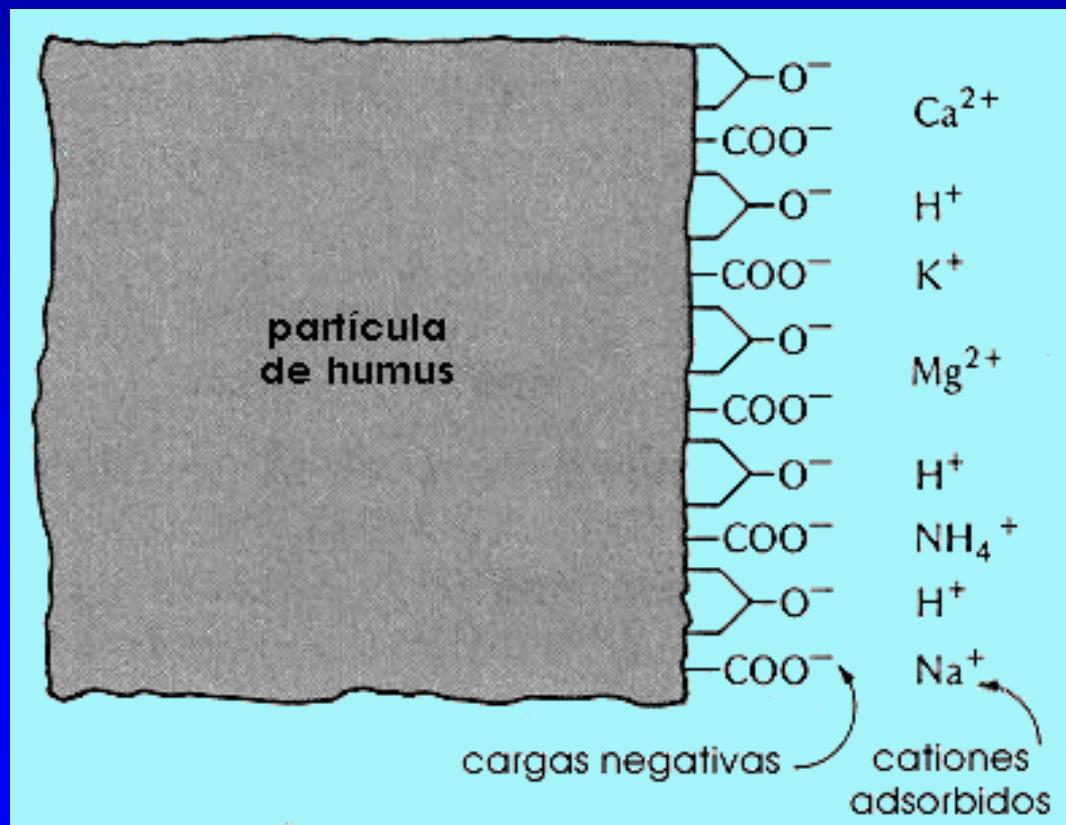
Estos déficit atraen a iones para neutralizar y quedan en posición de cambio.

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.



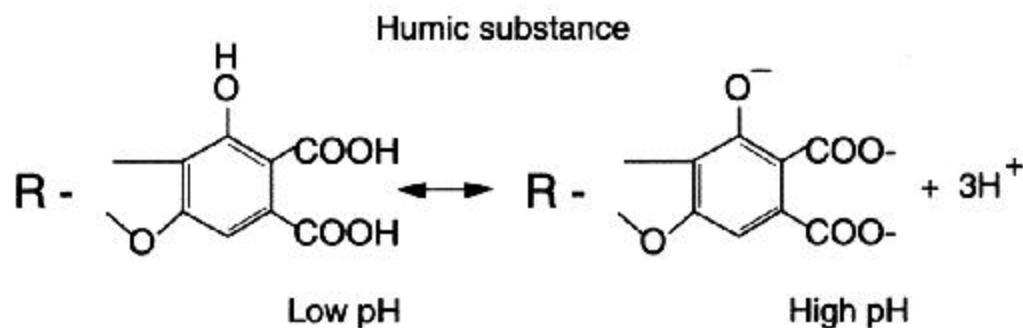
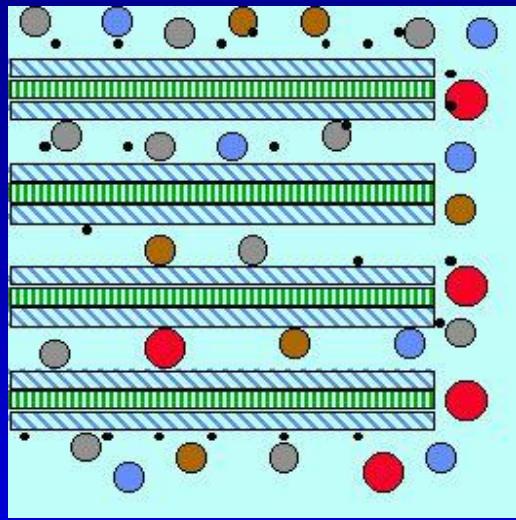


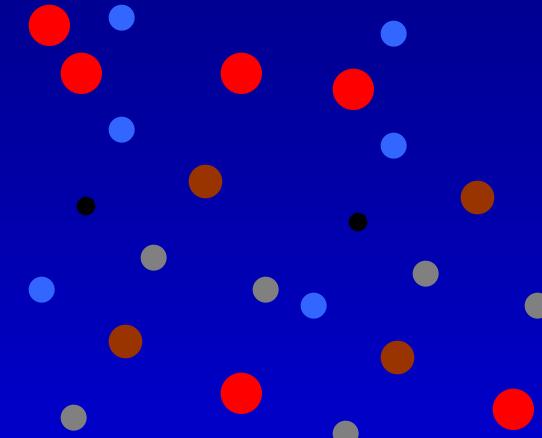
Fig. 6.10. Impact of soil pH on net charge of organic acids

Capacidad de intercambio iónico

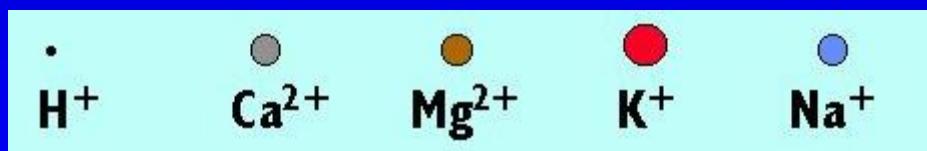
- Son procesos reversibles por los cuales las partículas sólidas del suelo adsorben iones de la fase acuosa liberando al mismo tiempo otros iones en cantidades equivalentes, estableciéndose el equilibrio entre ambas fases.



Arcilla



Solución del Suelo



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 adsorvidos 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.

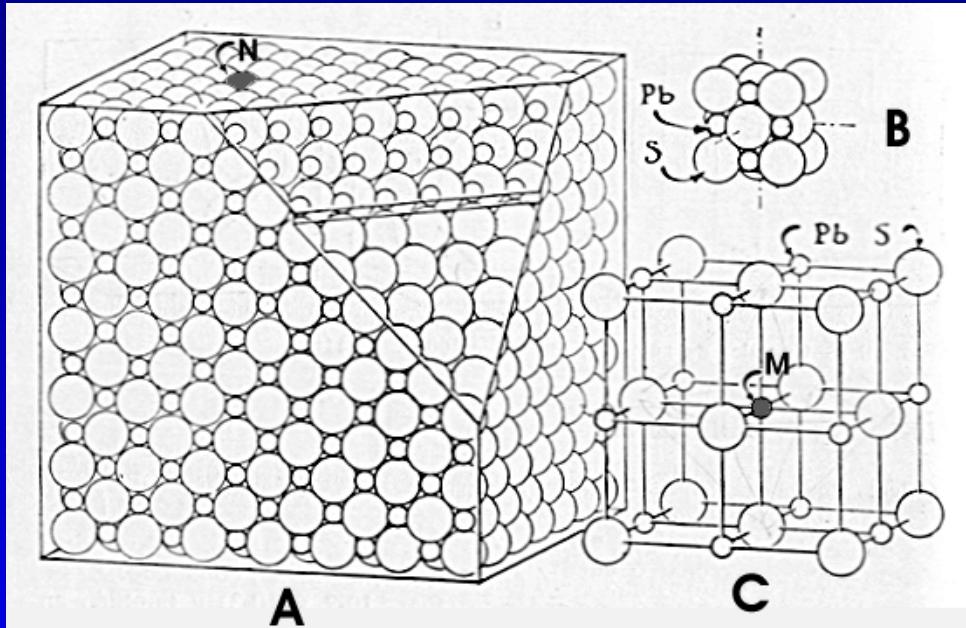
Teorías del intercambio iónico.

- Red Cristallina
- Doble Capa Eléctrica
- Membrana Semipermeable

Red Cristallina

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.



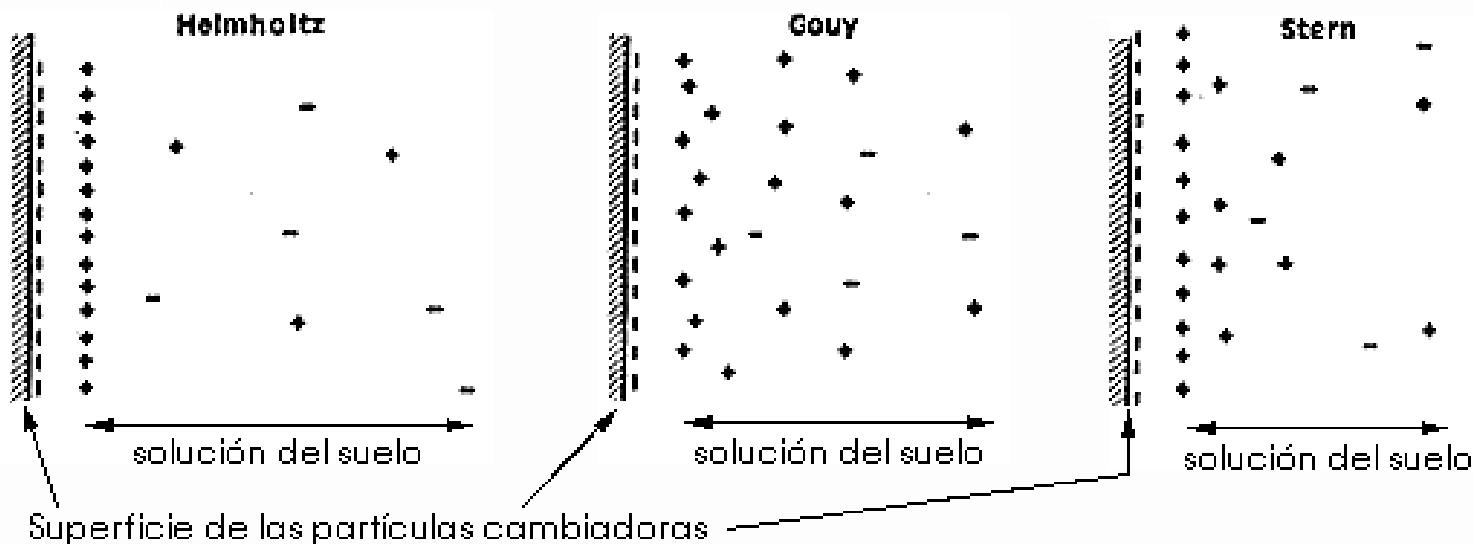
La estructura de un mineral (A) está constituida por un empaquetamiento de átomos, iones o moléculas, con un determinado modelo de repetición (B y C). Cualquier íon del interior de la estructura (íon M de la figura C) está completamente rodeado de iones de signo contrario con una determinada coordinación, de manera que su carga está compensada y el material es electricamente neutro. Ahora bien, los iones situados en la superficie se encuentran desequilibrados electricamente al no estar rodeados por todos sus lados por otros iones (el íon N de la figura A se encuentra coordinado a iones por la parte inferior, pero carece de coordinación por su parte superior). Estos iones de la superficie se encontrarán más débilmente retenidos y pueden intercambiarse con los de la solución del suelo.

Berry y Mason. 1966. Mineralogia. Ed Aguilar.

Capa Doble Difusa

- Considera el contacto entre el sólido y la fase líquida como un condensador plano.
- Entre el metal (el sólido) y el electrólito (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 un acapa 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 retenidas conforme están más próximos a las partículas.

Stern.

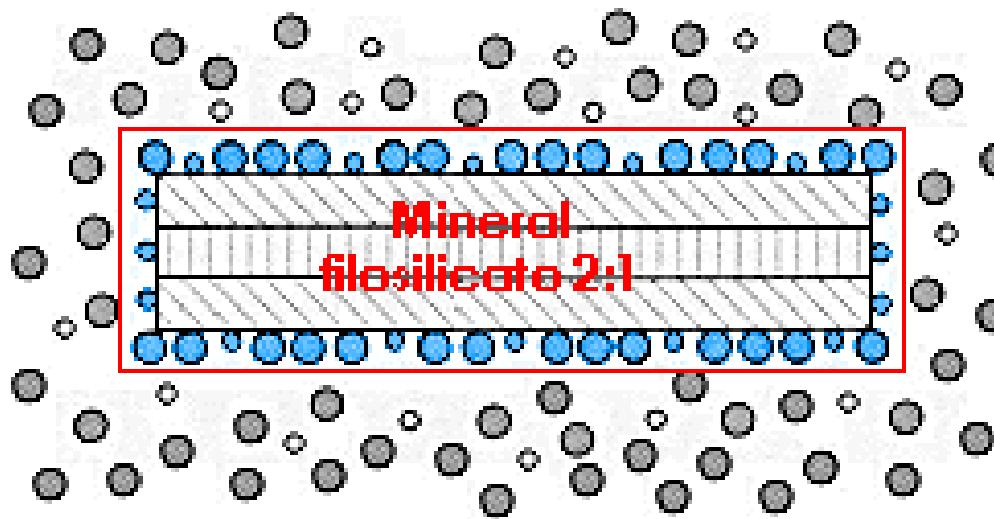
Capa rígida y difusa.

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 adsorvidos
- 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 adsorvidos 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

CICFO = 2 (% MO)

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

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

Saturación de Bases

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

BC = Bases cambiable

AC = Acidez cambiable

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

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

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 y Mg > Ca 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 ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	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 ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	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 (Inceptisol)	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).