



COLEGIO DE POSTGRADUADOS CAMPUS MONTECILLO

Tema 1: El suelo como suministro de nutrimentos

Dr. María de las Nieves Rodríguez Mendoza

Verano 2020.

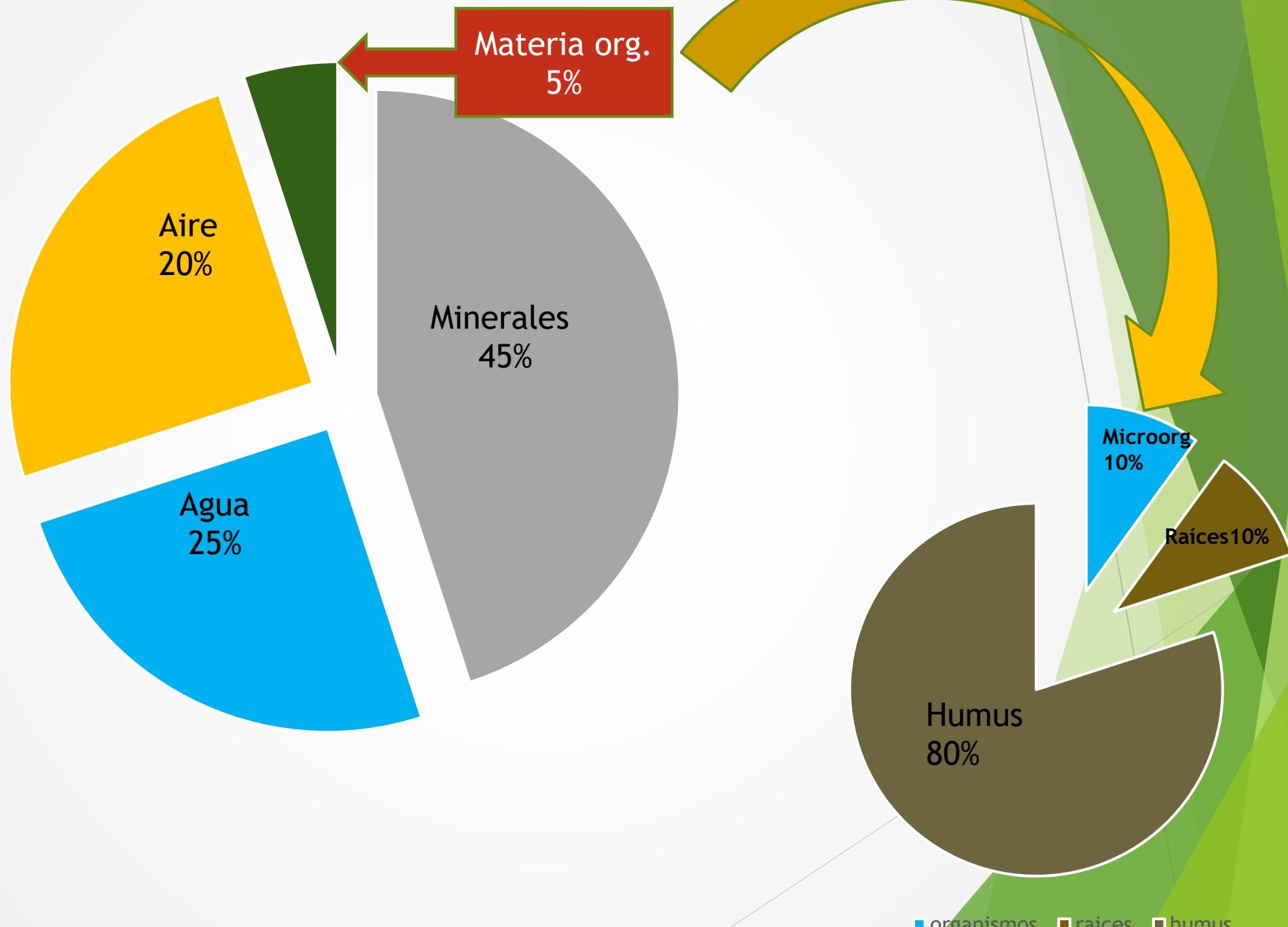
DEFINICIÓN DE SUELO

FAO. Capa delgada de material que se encuentra en la superficie de la tierra. Recurso natural que contiene materiales inorgánicos, orgánicos, aire y agua. Es el medio en el que las plantas se establecen y crecen, su función más universalmente reconocida es apoyar la producción de alimentos.

DEFINICIÓN DE CALIDAD DE SUELO

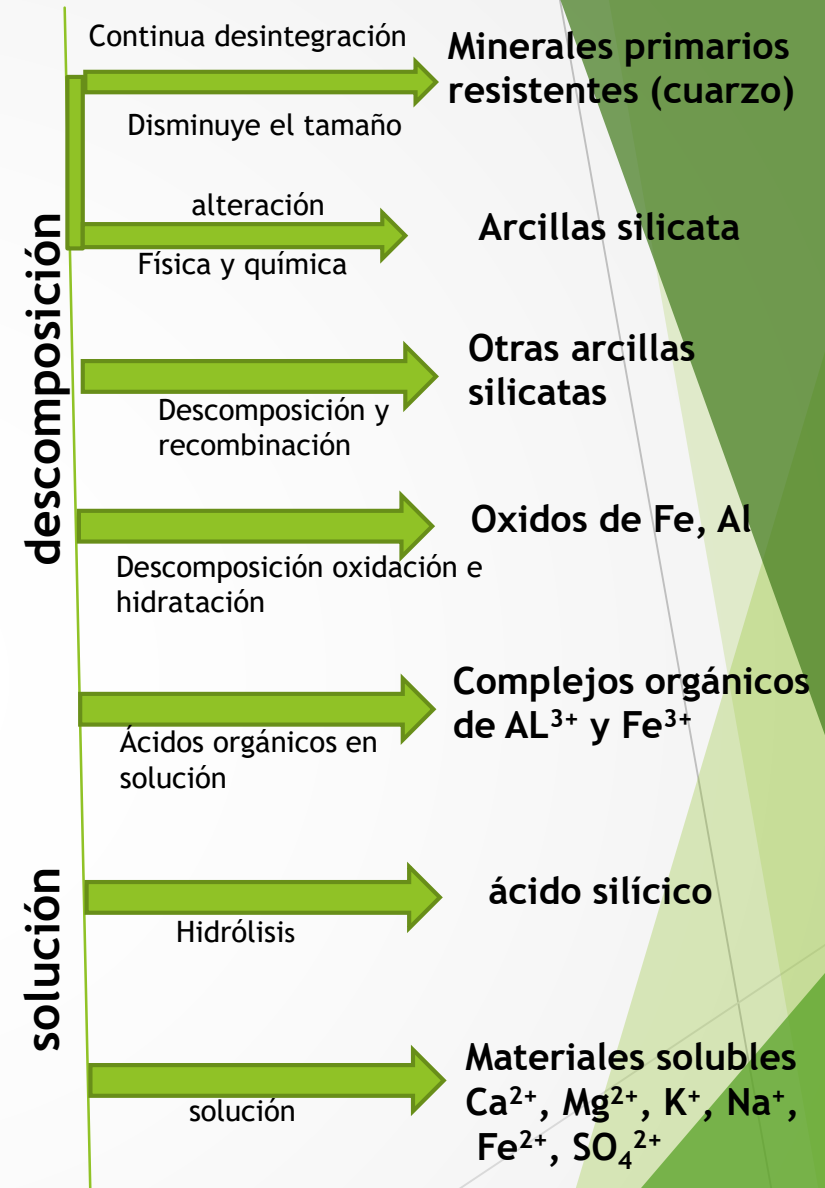
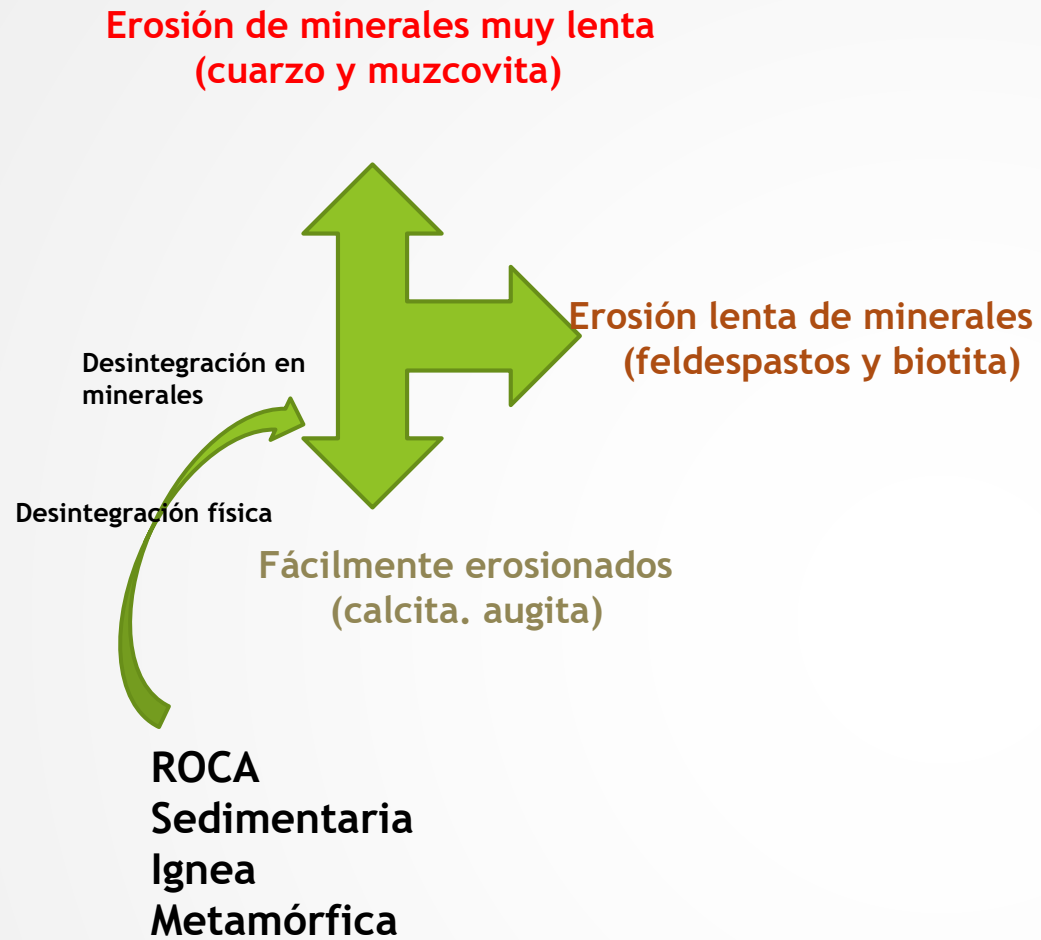
La capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sostener la productividad de las plantas y los animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat .

SUELO



Formación de los suelos

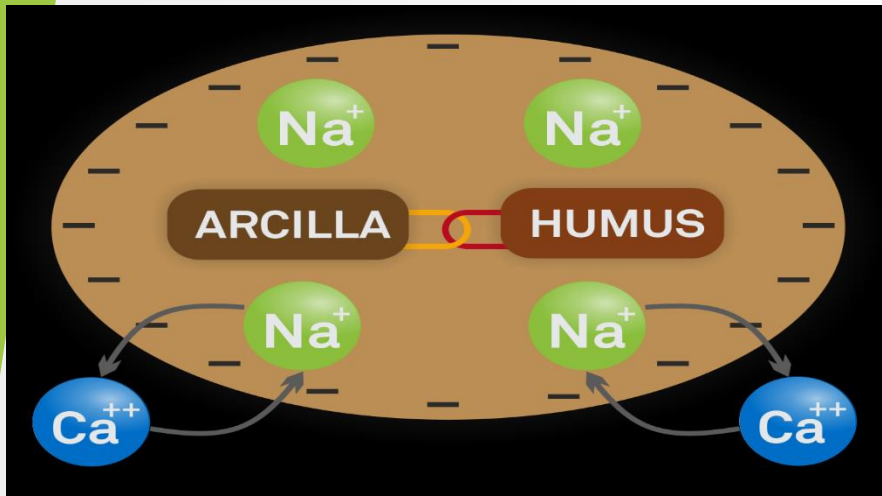
Origen	<div><div></div><div>Rocas preexistentes Rocas madres Rocas ígneas, sedimentarias, metamórficas</div></div>
Acción ambiental	Meteorización, erosión
Acción física	Variación térmica, Agua, Hielo, Difusión de raíces, Abrasión
Acción química	Hidratación, Carbonatación, Oxidación, Solución, Hidrólisis
Acción biológica	Actividad bacterias, Putrefacción
Resultado final	Diversos tipos de suelos



1.1 Forma de los nutrimentos en el suelo

Se pueden encontrar:

- Al forman parte de minerales primarios y secundarios, y complejos orgánicos (no asimilable).
- En forma aniónicas y catiónicas adsorbidas al complejo de cambio orgánico o mineral del suelo (en equilibrio y directamente asimilable).
- En formas iónicas o moléculas pequeñas en solución (asimilable).



Elementos esenciales

Elementos (macronutriente)	Forma en solución	En el suelo
Azufre (S)	SO_4^{2-}	Rocas plutónicas, Materia Orgánica (M.O.) y diferentes formas de sulfatos.
Fósforo (P)	H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}	Fósforo orgánico y fósforo inorgánico.
Magnesio (Mg)	Mg^{2+}	Biotita, dolomita, clorita, serpentinas, olivino, augita y hornblenda.
Calcio (Ca)	Ca^{2+}	Calcita, dolomita, apatitas y feldespatos cálcicos.
Potasio (K)	K^+	Feldespatos y micas (no intercambiable). Intercambiables y M.O.
Nitrógeno (N)	NO_3 , NH_4^+	Precipitación, mineralización y fijación.
Oxígeno (O)	O_2 , H_2O	Ligado a M.O. y Agua
Carbono ©	CO_2	Ligado a M.O.
Hidrógeno (H)	H_2O	Agua.

Micronutrientes esenciales

Elemento (micronutrientes)	Forma en solución	En el suelo
Molibdeno (Mo)	MoO_4^{2-}	Mineralización, ligado a M.O. y fijación.
Níquel (Ni)	Ni^{2+}	Ion libre.
Cobre (Cu)	$\text{Cu}^{3+}, \text{Cu}^{2+}$	Ligado a M.O.
Zinc (Zn)	Zn^{2+}	Ligado a M.O.
Manganeso (Mn)	Mn^{2+}	Ligado a M.O.
Boro (B)	H_3BO_3	Turmalina. En arcilla y ligado a M.O.
Hierro (Fe)	$\text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+}$	Olivino, Pirita, Siderita, hematita, goetita, magnetita y limonita.
Cloro (Cl)	Cl^-	Ión libre.

Elementos benéficos

En el suelo

Sodio (Na)	Na^+ , elemento libre.
Silicio (Si)	Rocas, arenas y arcillas, combinado con oxígeno (SiO_2) y metales conocidos como silicatos.
Cobalto (Co)	Co^{2+} , Co^{3+} , lineaita (Co_3S_4), cobaltita (CoAsS), esmaltita (CoAs_3) y eritrita ($\text{Co}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$)
Aluminio (Al)	Al^{+3} , feldespatos, micas, caolín y corindón.
Selenio (Se)	Selenuro (Se^{2-}), selenio elemental(Se), thioselenato (Se^{2+}), selenito(Se^{4+}) y selenato (Se^{6+}). Selenometionina y selenocisteína.
Yodo (I)	Yodato (IO_3^-) y yoduro (I^-).
Vanadio (V)	VO^{2+} , H_2VO_4^- .

**Después de la fotosíntesis y la respiración, el
proceso natural mas importante en
la vida de las plantas es**

el intercambio iónico

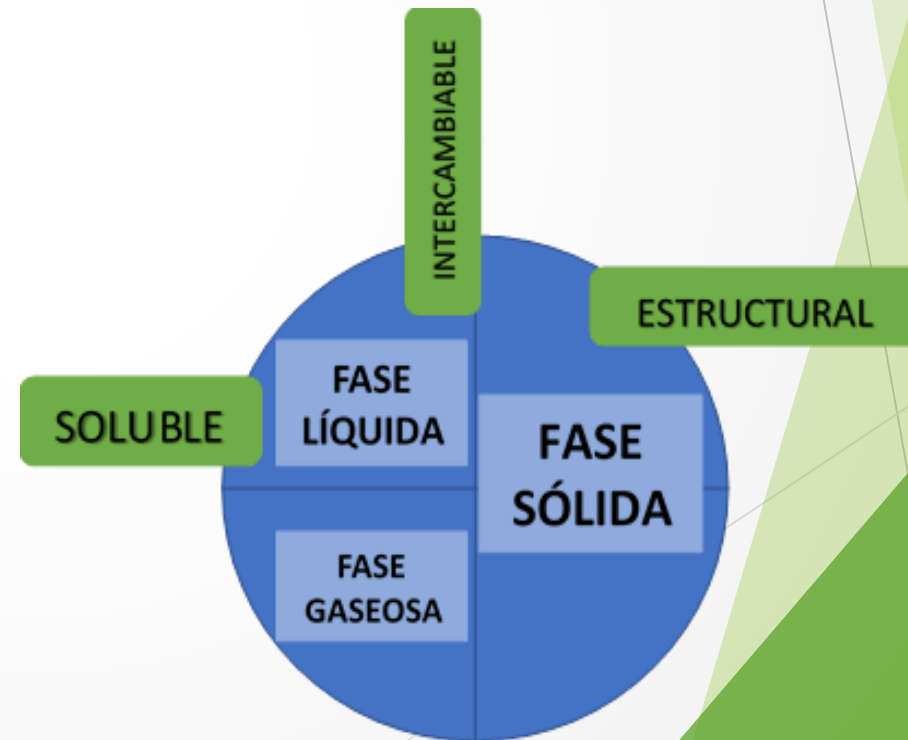
entre las partículas del suelo y sus raíces

1.2 Intercambio de los iones en el suelo

Definición:

Proceso **reversible** donde las partículas sólidas del suelo **adsorben** iones de la fase acuosa y liberan al mismo tiempo iones en cantidades equivalentes. Estableciéndose el equilibrio entre ambas fases.

- Capacidad de intercambio catiónico.
- Capacidad de intercambio aniónico.



Proceso:

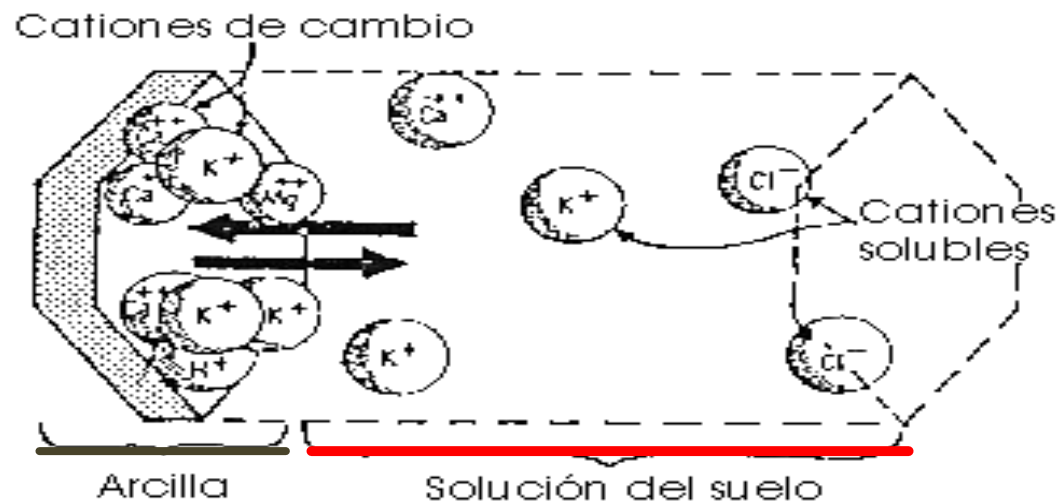
ABSORCIÓN

ADSORCIÓN

Desequilibrio eléctrico de las partículas del suelo.

Neutralización de cargas (adsorción de iones de la solución).

Retención débil de iones por las partículas del suelo.



Teorías del intercambio iónico:

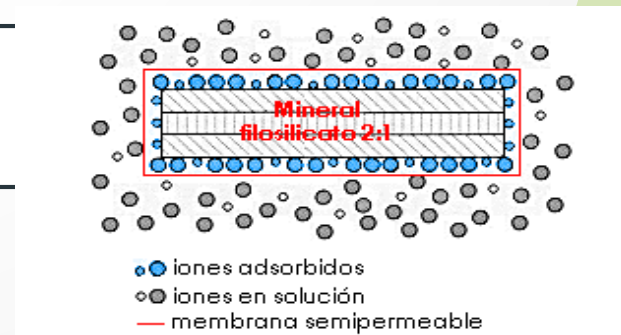
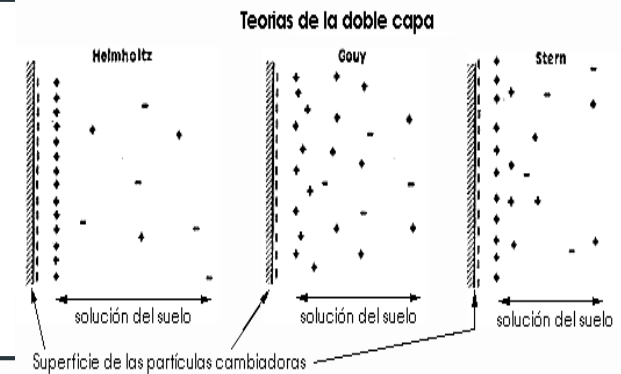
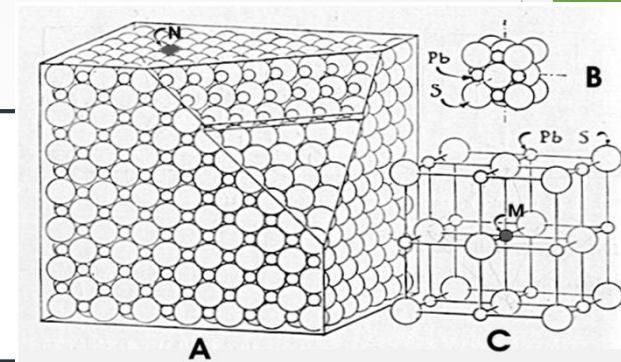
RED CRISTALINA

Las partículas de minerales son sólidos iónicos.
Iones de bordes intercambiables.

DOBLE CAPA ELÉCTRICA

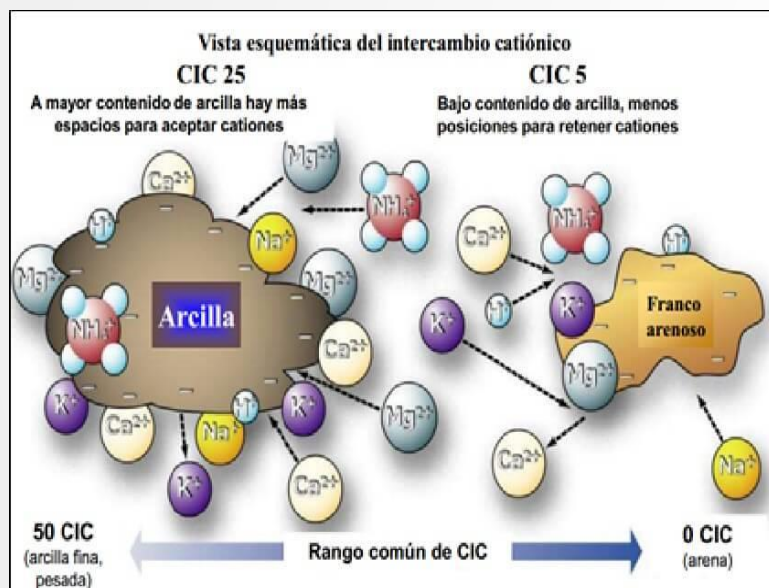
Condensador plano.
Diferencia de potencial.
Doble capa eléctrica.

MEMBRANA SEMIPERMEABLE



CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO (CIC)

Medida de la cantidad de cargas negativas presentes en la superficie de minerales y componentes orgánicos del suelo (arcilla, M.O. o sustancias húmicas). Representa la cantidad de cationes que una superficie pueden retener.

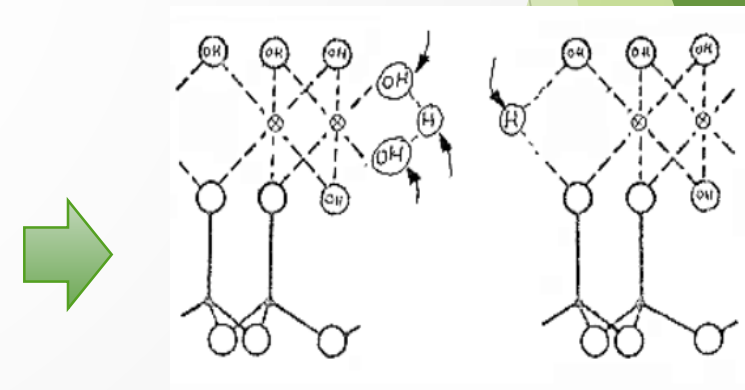
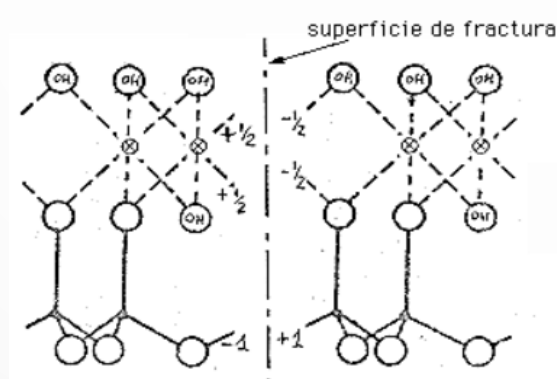
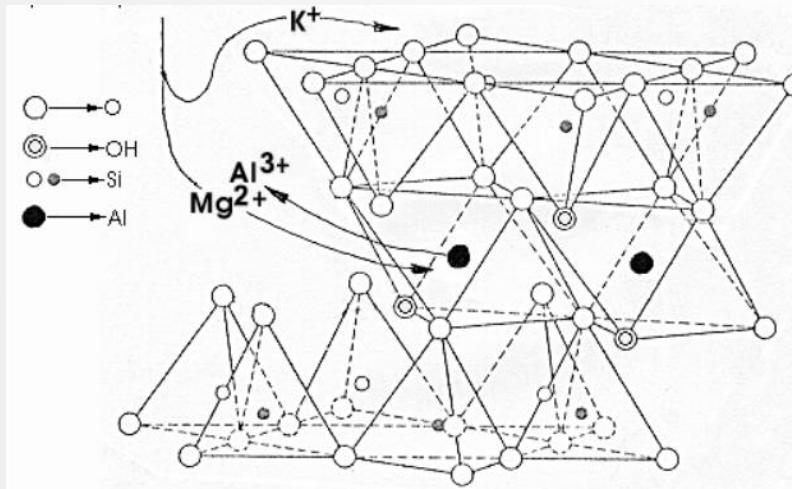
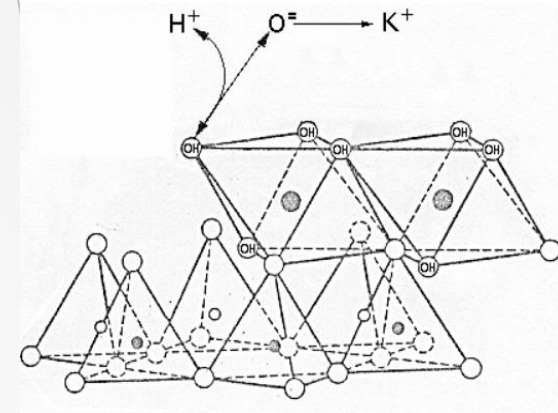
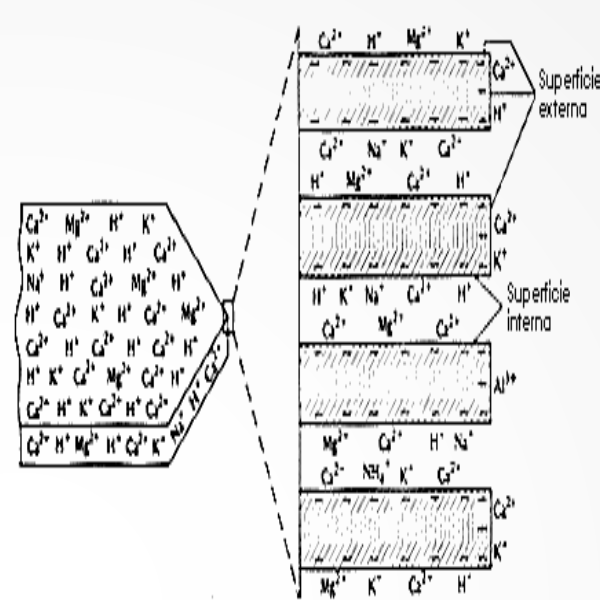


Grupo de arcillas	Capacidad de Intercambio Catiónico
Caolinita	3 - 15 $\text{cmol}_{(+)} \text{kg}^{-1}$
Montmorillonita	80 - 150 $\text{cmol}_{(+)} \text{kg}^{-1}$
Ilita	10 - 40 $\text{cmol}_{(+)} \text{kg}^{-1}$
Vermiculita	100 - 150 $\text{cmol}_{(+)} \text{kg}^{-1}$
Clorita	10 - 40 $\text{cmol}_{(+)} \text{kg}^{-1}$

El valor aumenta al elevar el pH del medio.

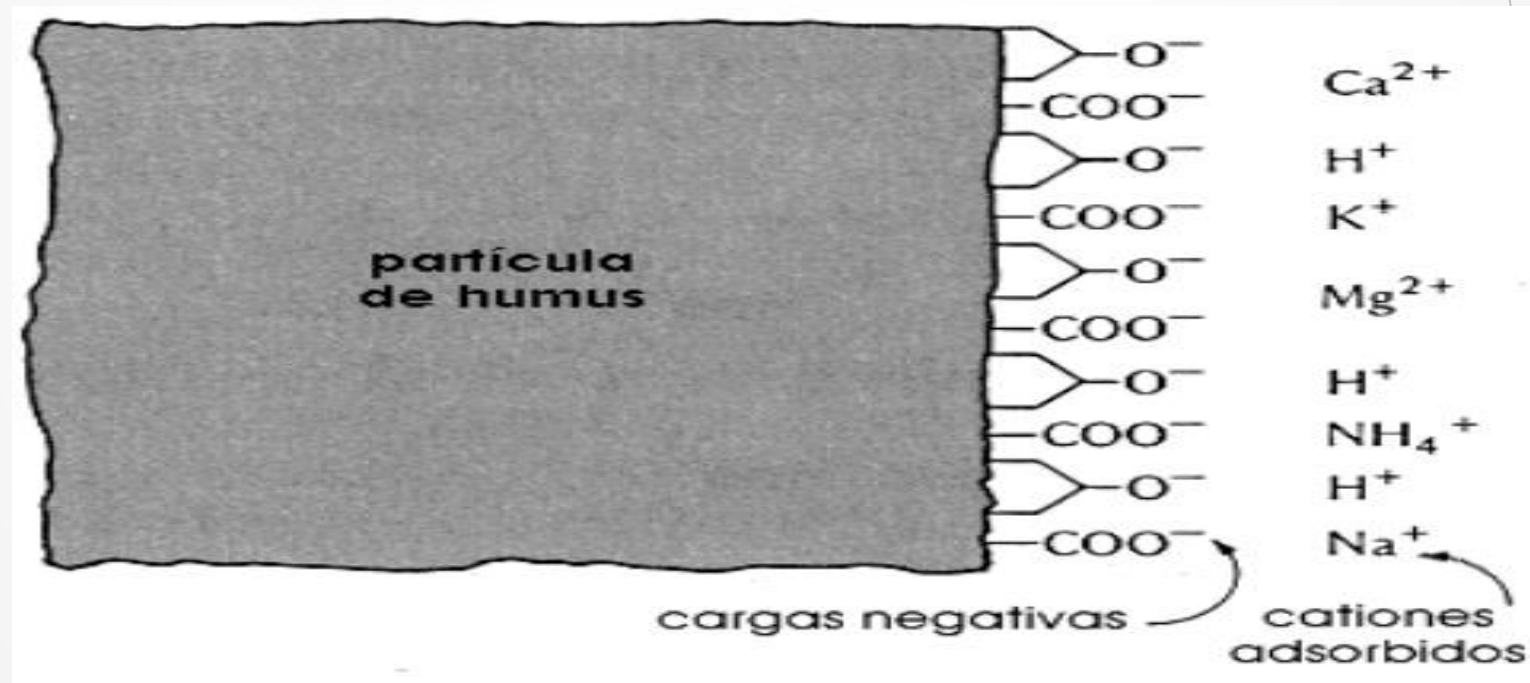
CIC en arcillas:

- Sustitución atómica dentro de la red.
- Existencia de bordes.
- Disociación de los grupos OH de las capas basales.
- Fuerzas de Van Der Waals.



CIC en M.O.

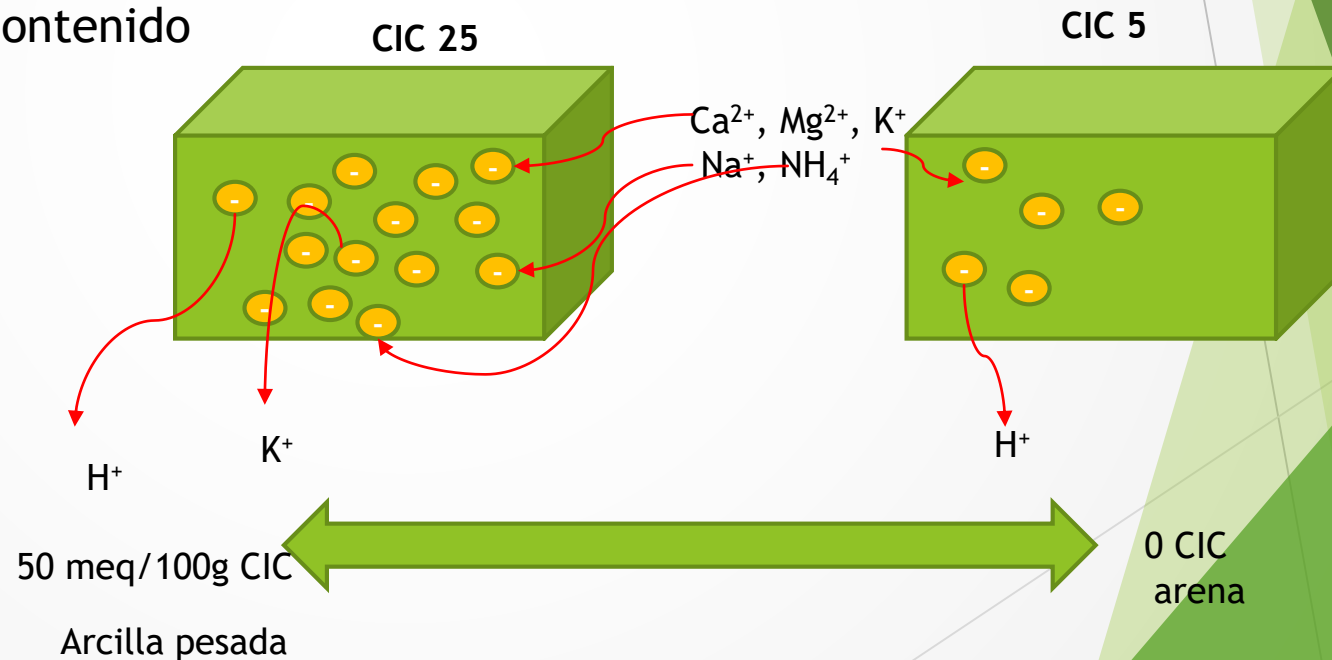
- Disociación de los OH
- Disociación de los COOH



CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

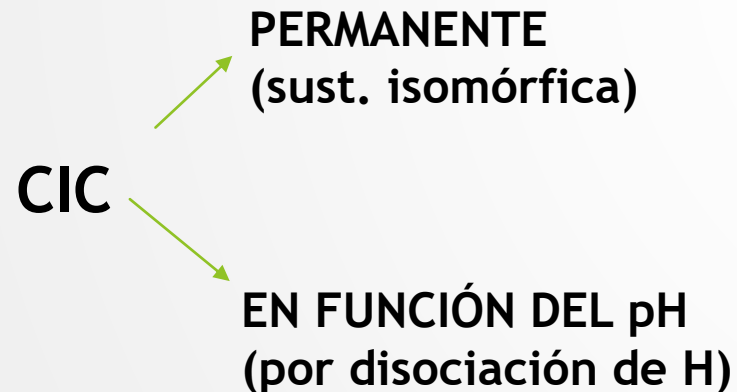
Capacidad que tiene el suelo de retener e intercambiar cationes

La CIC depende de la cantidad y tipo de arcillas y del contenido de materia orgánica



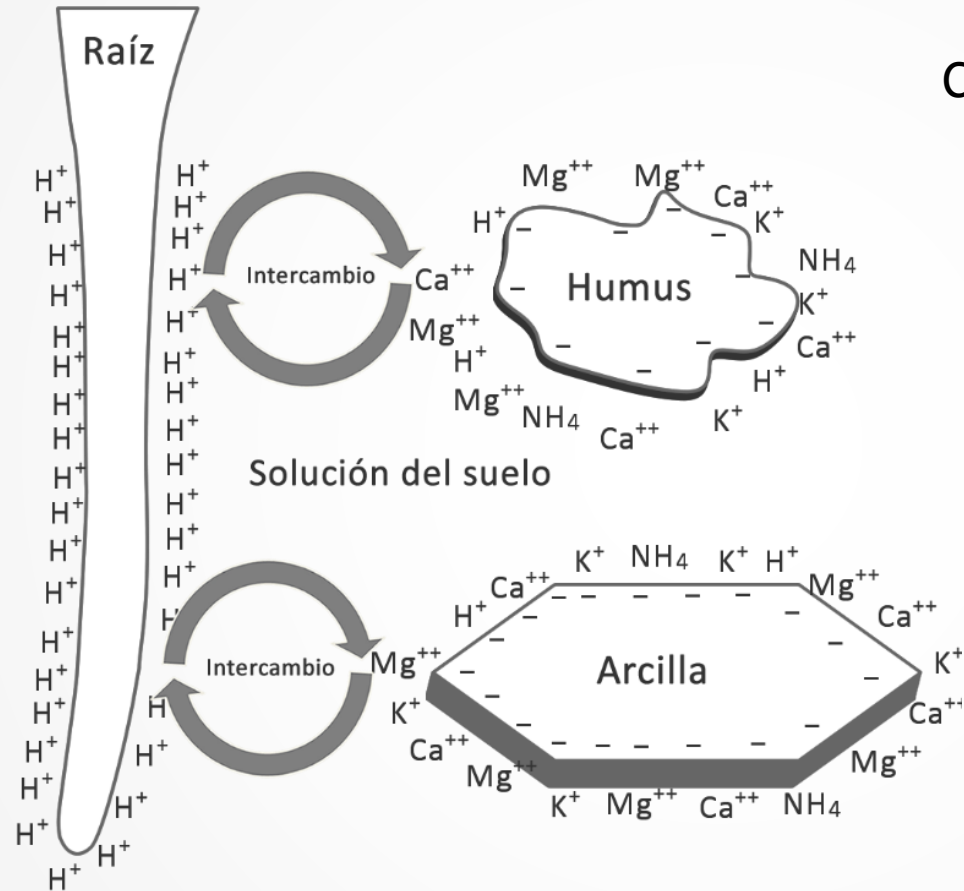
ALGUNAS APLICACIONES PRÁCTICAS de CIC

Suelos con CIC de 11 a 50	Suelo con CIC de 1 a 10
<ul style="list-style-type: none">*Alto contenido de arcilla*Mayor capacidad de retener nutrientes*Alta capacidad de retener agua	<ul style="list-style-type: none">*Alto contenido de arena*Mayor probabilidad de pérdidas de nitrógeno y potasio por lixiviación*Contenidos altos de arena*Baja capacidad de retener agua



Adsorción de cationes llamada serie liotrópica ó serie de Hofmeister :
 $\text{Li}^+ < \text{Na}^+ < \text{K}^+ < \text{NH}_4^+ < \text{Rb}^+ < \text{Cs}^+ < \text{Mg}^{2+} < \text{Ca}^{2+} < \text{Sr}^{2+} < \text{Ba}^{2+} < \text{Al}^{3+} < \text{H}^+$

CIC EN EL SUELO

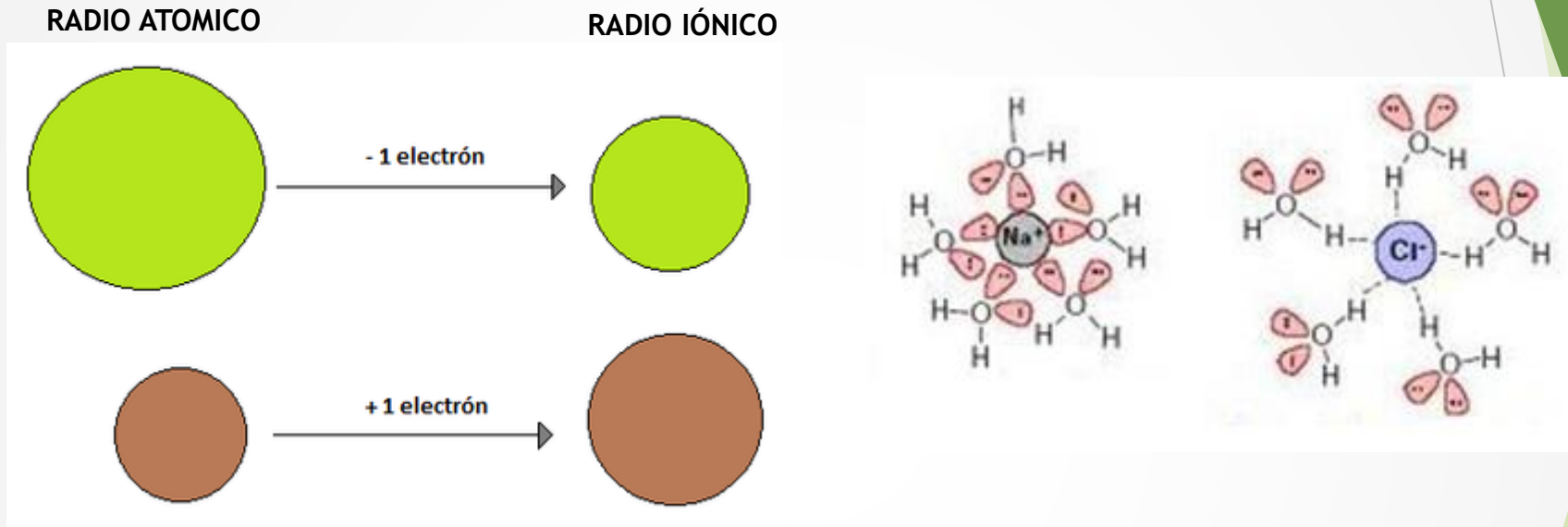


ENERGÍA DE ADSORCIÓN CATIÓNICA

- Distancia entre cargas
- Radio iónico
- Carga (valencia)
- Radio de hidratación

Radio iónico (Å)		
<u>Ión</u>	<u>No hidratado</u>	<u>Hidratado</u>
Li ⁺	0.78	10.03
Na ⁺	0.98	7.90
K ⁺	1.33	5.32
NH ₄ ⁺	1.43	5.37
Rb ⁺	1.49	5.09
Cs ⁺	1.65	5.05
Mg ²⁺	0.78	10.08
Ca ²⁺	1.06	9.6
Sr ²⁺	1.27	9.6
Ba ²⁺	1.43	8.8
Al ³⁺	0.57	---
La ³⁺	1.22	---

RADIO IÓNICO Y RADIO DE HIDRATACIÓN



iones más pequeños y con mayor carga = un número mayor de moléculas de agua en las esferas de hidratación

iones más grandes y carga menor = menor número de moléculas de agua en las esferas de hidratación

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO ANIÓNICO

Importante en suelos de carga variable, ricos en óxidos hidratados de Al^{3+} y Fe^{3+} .

Los aniones y las moléculas de comportamiento aniónico más importantes son:

- Aniones: Cl^- , HCO_3^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , OH^- y F^-
- Micronutrientes: H_2BO_3^- y MoO_4^{2-}
- Metales pesados: CrO_4^{2-} y HAsO_4^{2-}

.2 a $2\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$

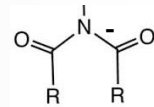
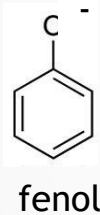
Factores que influyen en las reacciones de cambio aniónico:

- Carga y concentración del anión.
- Variedad de los cationes intercambiables.
- **pH.**
- Presencia de otros aniones.
- Naturaleza y carga de la superficie del coloide.

CARGAS NEGATIVAS DE LAS PARTÍCULAS

DE MATERIA ORGÁNICA

R-COO⁻
carboxilo



R.NH⁻
amino

R-O⁻
hidroxilo

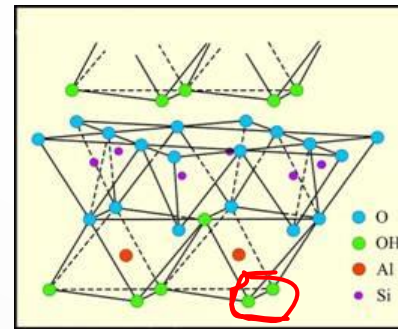
DE FRACCIÓN MINERAL

Lámina de Sílice
(Sin sustitución)

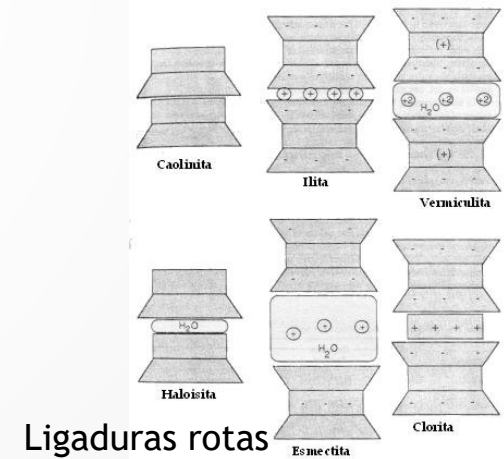
O⁻² Si⁺⁴ O⁻²

Lámina de Sílice
(Si sustituido por Al)

O⁻² Al⁺³ O⁻²



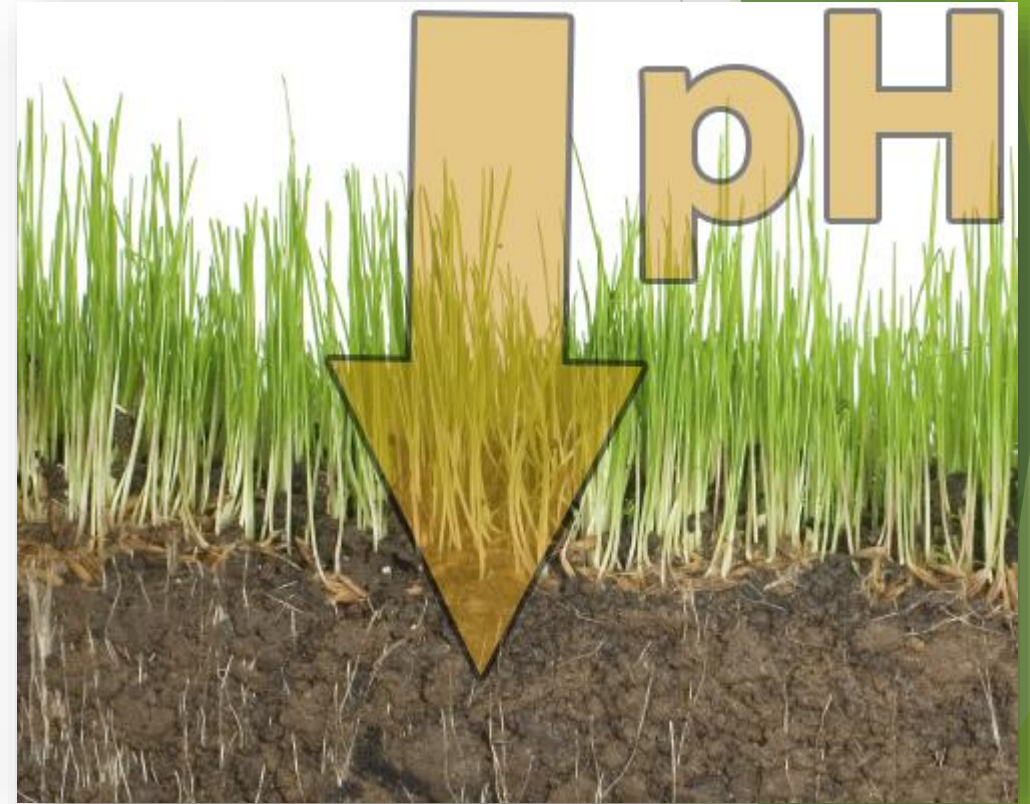
Ionización de grupos OH
en la caonilinita
Dependiente de pH



Ligaduras rotas

1.3 Capacidad buffer del suelo

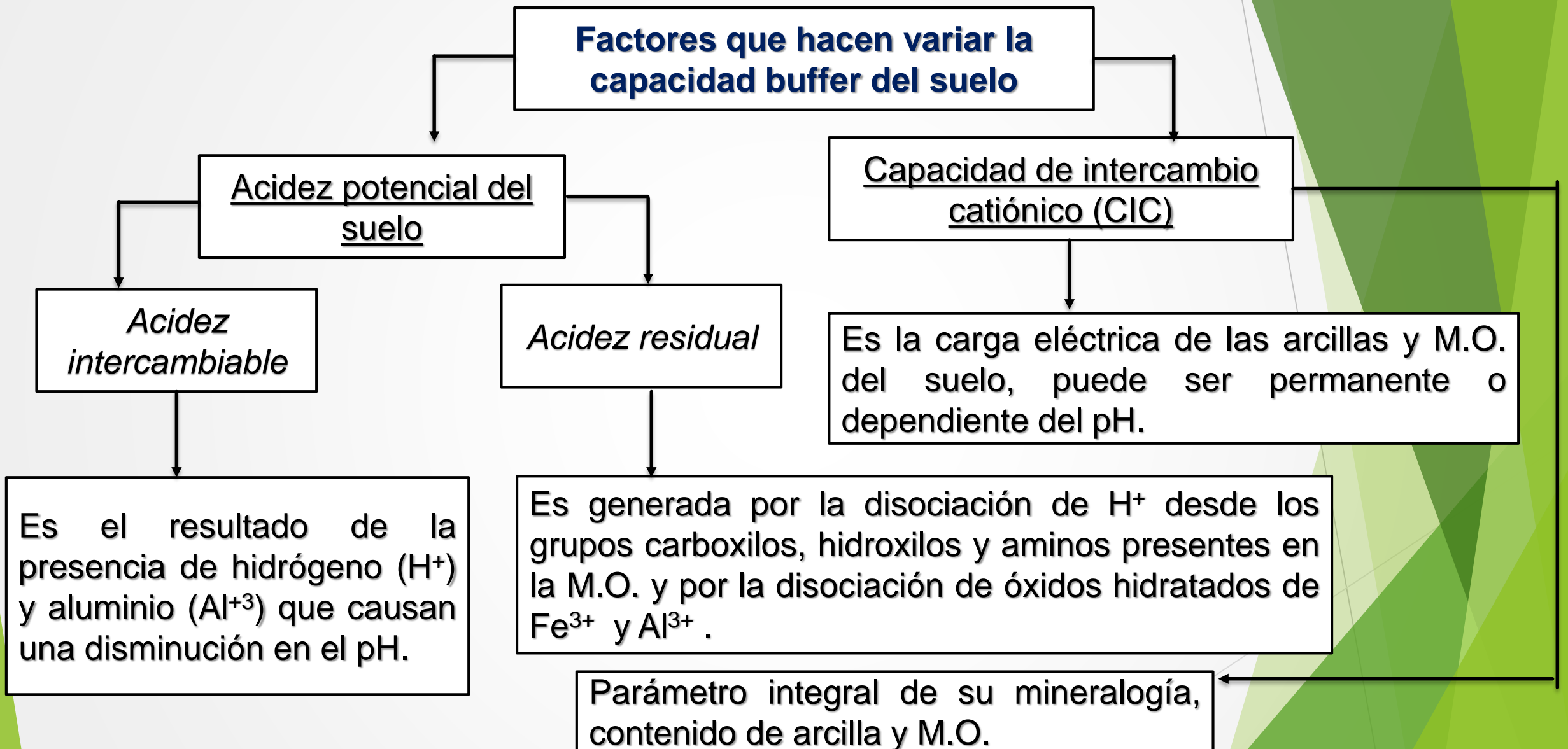
Es la resistencia que tiene el suelo a cambiar el pH cuando se le adicionan sustancias ácidas o básicas.



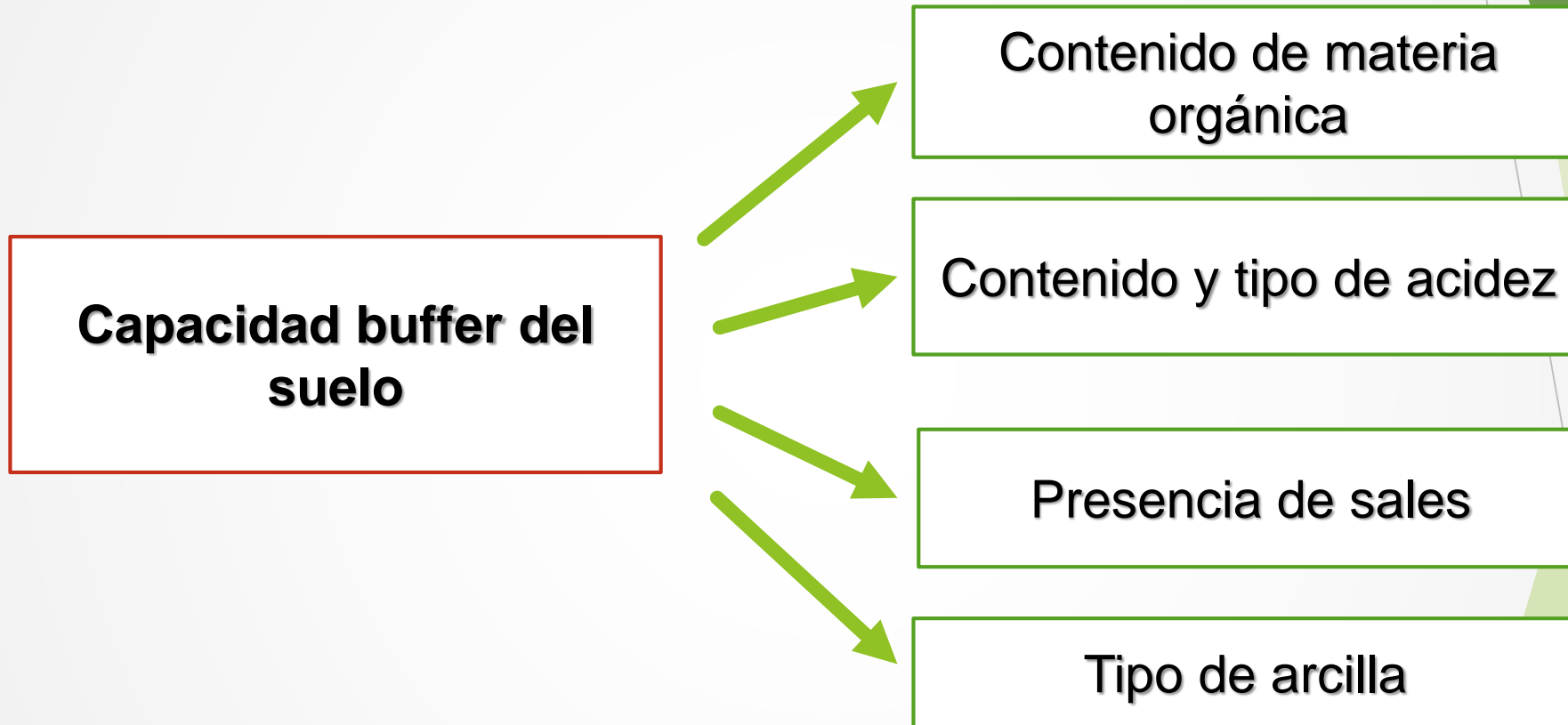
La capacidad amortiguadora del suelo es la resistencia a los cambios de actividad o concentración de los componentes del suelo y materiales, adicionados debido a cambios de los factores ambientales como: disponibilidad de agua, temperatura y tiempo.

Suelos con	Capacidad Amortiguadora
pH neutro, contenidos altos de MO, CIC, CO ₃ y arcilla	Alta Contra metales pesados (Cu, Pb, Cd)
pH ácido, altos contenidos de óxidos de Fe y Al.	Alta Contra F y no con metales pesados.

La variación de la capacidad buffer depende del material parental, el contenido y tipo de arcilla, el contenido de M.O. y la presencia de óxidos e hidróxidos de Fe³⁺ y Al³⁺.



Esta propiedad se debe a la habilidad de transferir protones entre pares conjugados (ácido-base).



Capacidad
Buffer del suelo

Origen de las arcillas

La materia orgánica

Cultivos presentes en el suelo

La humedad del suelo

La actividad microbiana

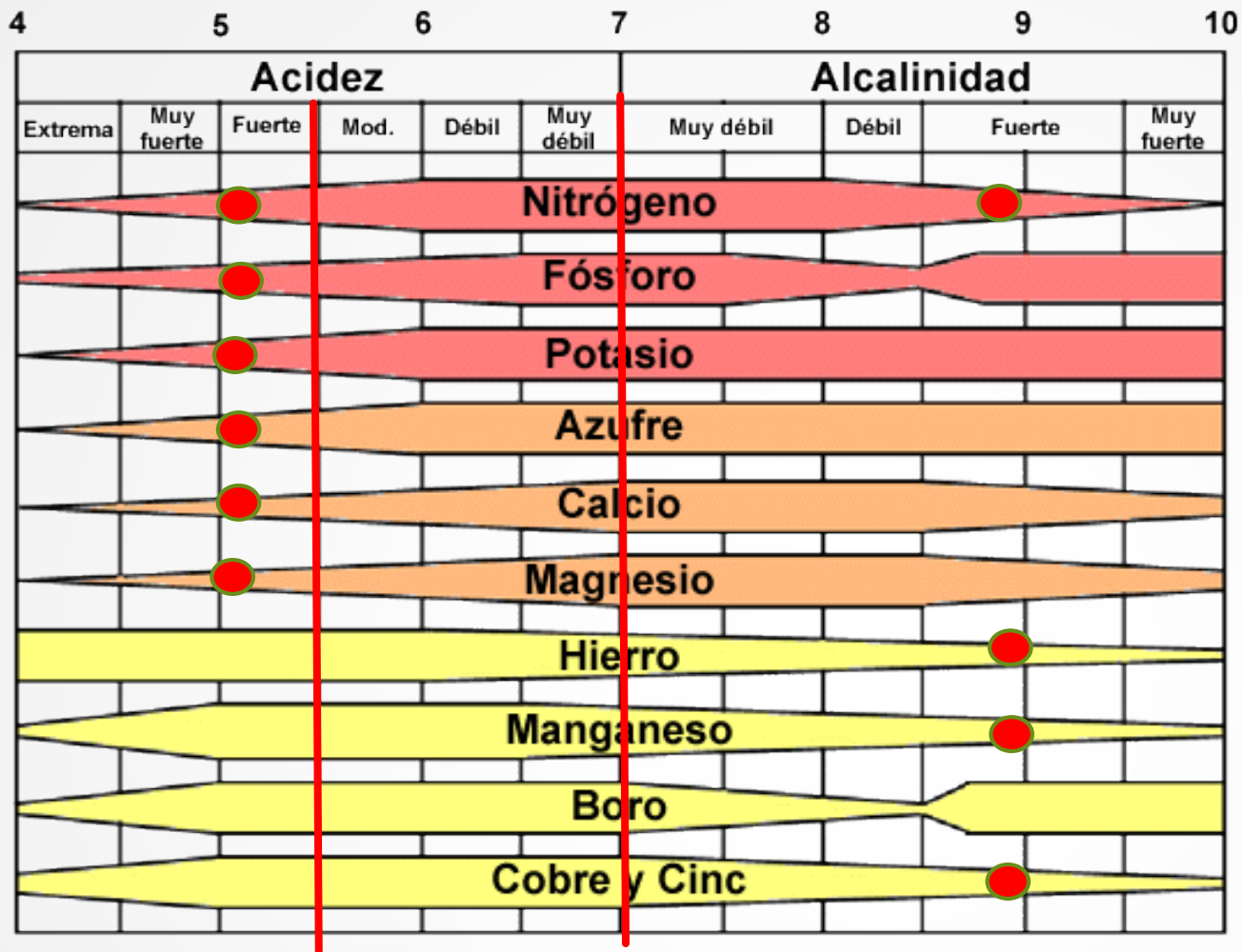
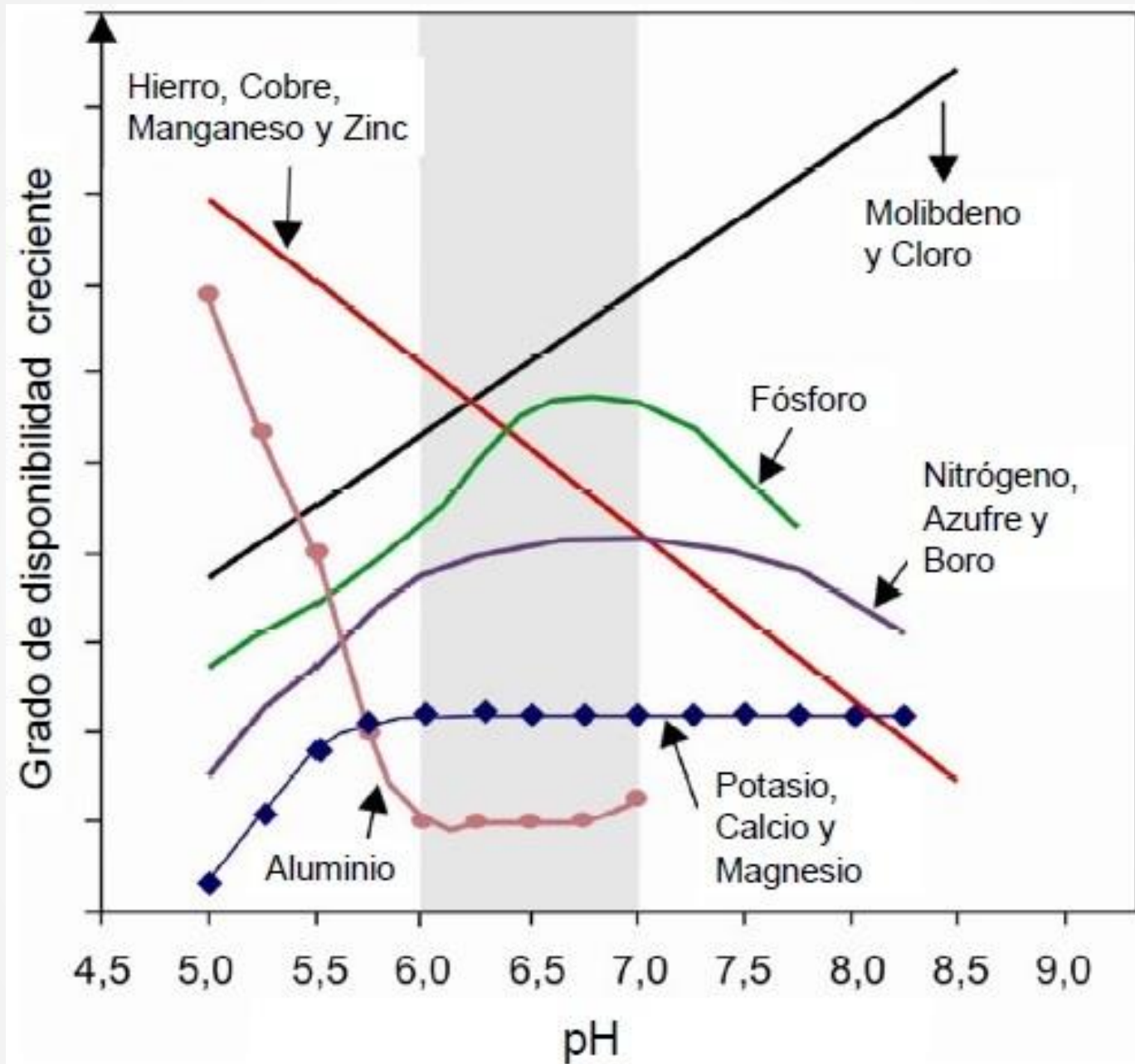


Diagrama de Trough

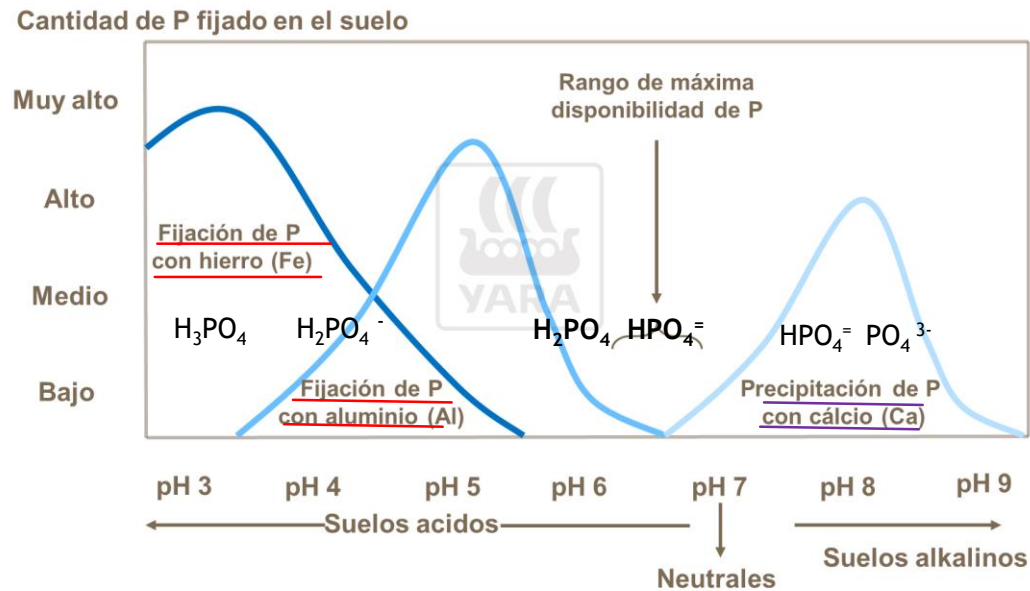
pH del suelo

modifica el grado
de solubilidad de
los minerales

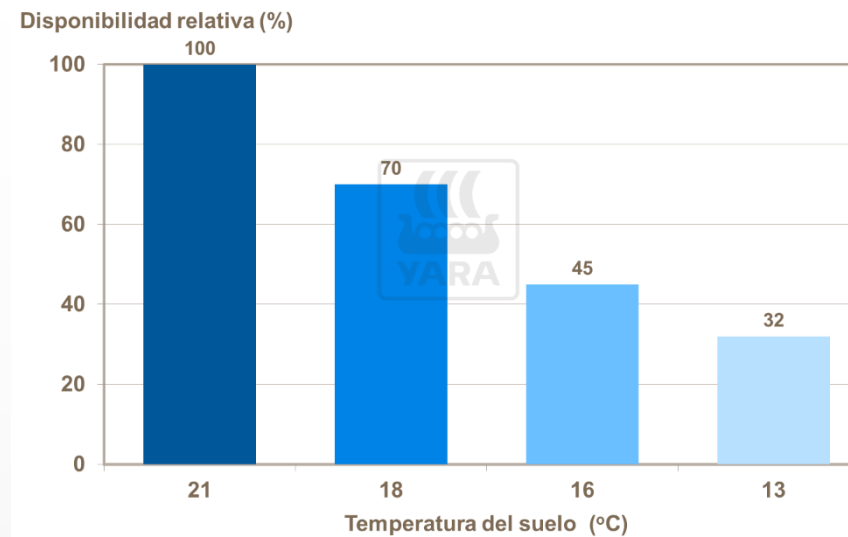
Disponibilidad de los iones en función del pH del suelo



El efecto que tiene el pH del suelo en la disponibilidad de fósforo (P)

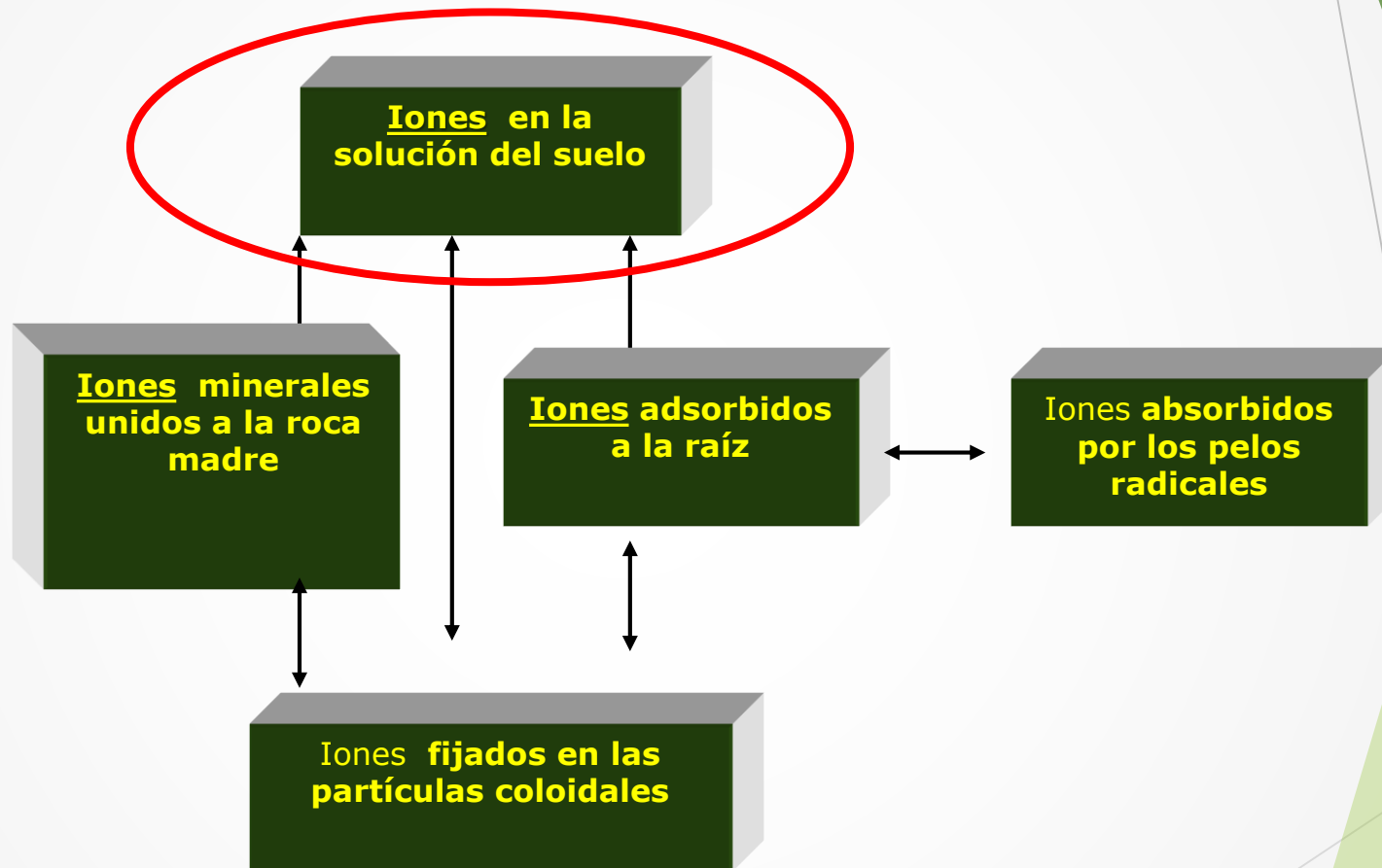


Efecto de la temperatura del suelo en la disponibilidad del Fósforo



REF: Yara

Localización y movimiento de los iones entre el suelo y la planta



1.4 Los iones en la solución del suelos

- La solución del suelo es la fase líquida y los solutos provenientes de iones disociados de las superficies de las partículas del suelo y de componentes solubles.
- Químicamente es una solución diluida de electrólitos y compuestos orgánicos hidrosolubles y en equilibrio con algunos componentes sólidos y gaseosos.

La solución del suelo esta compuesta de sales, que son compuestos iónicos formados por iones positivos (cationes) y por iones negativos (aniones), razón por la cual no forman moléculas. Estos iones se unen formando figuras geométricas y cristalinas, que las caracterizan.

ANIONES (Carga negativa)

- NO_3^-
- PO_4^{3-}
- CO_2^{2-}



CATIONES (Carga positiva)

- Ca^{2+}
- K^+
- Zn^{2+}

IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN DEL SUELO

- ❑ La solución del suelo es el intermediario entre el complejo adsorbente del suelo y la planta.
- ❑ Los análisis de la solución del suelo ayudan a conocer la interacción entre la disolución de nutrimentos aplicada en suelo o sustrato, verificando pH, CE y elementos minerales de interés en general.
- ❑ La proporción o equilibrio químico adecuado en la solución del suelo puede influir en el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

LA CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES EN LA SOLUCIÓN DEL SUELO

Es un sistema dinámico, donde continuamente las plantas están retirando nutrientes, mientras los sólidos minerales y la MO del suelo también están liberando nutrientes

Concentración μ M								
K	Ca	Mg	N-NH ₄	N-NO ₃	S-SO ₄	P-PO ₄	Zn	Mn
510	1650	490	48	3100	590	1.5	0.48	0.002

Concentración nutrimental promedio en la solución de la capa arable
De 0 a 20 cm en un suelo de pH 7

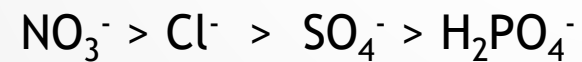
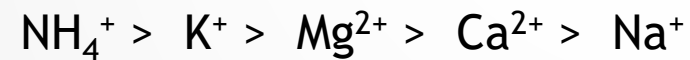
Movimiento de los iones en la solución del suelo



Adsorción en la superficie radicular



Absorción a través de la membrana



iones que intervienen
en la nutrición del cultivo
en función de la velocidad
de su movimiento

Valores de referencia sugeridos para la interpretación del análisis del extracto de pasta para suelo que están bajo explotación en el invernadero.

Determinación	Muy Bajo	Bajo	Mod. Bajo	Adecuado ó Medio	Mod. Alto	Alto	Muy Alto
CE, dS m ⁻¹	<0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.5	2.5-4.0	4.0-5.0	> 5.0
RAS	< 1.0	1.0-2.0	2.0-3.0	3.0-5.0	5.0-7.0	7.0-9.0	> 9.0
Ca ²⁺ , meq L ⁻¹	< 1.0	2.0-3.0	3.0-5.0	5.0-10	10-15	15-20	> 20
Mg ²⁺ , meq L ⁻¹	< 1.0	1.0-2.0	2.0-3.0	3.0-5.0	5.0-8.0	8.0-10	> 10
Na ⁺ , meq L ⁻¹	< 2.0	2.0-3.0	3.0-5.0	5.0-8.0	8.0-10	10-15	> 15
K ⁺ , meq L ⁻¹	< 0.5	0.5-1.0	1.0-2.0	2.0-3.0	3.0-4.0	4.0-5.0	> 5.0
NO ₃ ⁻ , meq L ⁻¹	< 2.0	2.0-3.0	3.0-5.0	5.0-8.0	8.0-12	12-14	> 14
SO ₄ ⁻² , meq L ⁻¹	< 1.0	1.0-2.0	2.0-4.0	4.0-6.0	6.0-10	10-15	> 15
Cl ⁻ , meq L ⁻¹	< 1.0	1.0-2.0	2.0-4.0	4.0-6.0	6.0-10	10-15	> 15
HCO ₃ ⁻ , meq L ⁻¹	< 0.5	0.5-1.0	1.0-2.0	2.0-4.0	4.0-8.0	8.0-12	> 12
CO ₃ ⁻² , meq L ⁻¹	0.0	0.0	0.0	0.0-0.2	0.2-0.5	0.5-1.0	> 1.0
P-PO ₄ , ppm	< 0.5	0.5-1.0	1.0-2.0	2.0-3.0	3.0-5.0	5.0-10	> 10
NO ₃ /K ⁺	< 1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-4.0	> 4.0
K/Ca	< 0.1	0.1-0.15	0.15-0.2	0.2-0.4	0.4-0.5	0.5-0.75	> 0.75
K/Mg	< 0.1	0.1-0.15	0.15-0.2	0.2-0.5	0.5-0.8	0.8-1.0	> 1.0
Ca/Mg	0.8	0.8-1.0	1.0-1.2	1.0-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	> 3.0
Ca/Na	< 0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-3.0	3.0-5.0	5.0-10	> 10

*Todas las relaciones están expresadas en base a meq/L

CONOCEMOS EL ORIGEN DE LOS IONES

CONOCEMOS LA CICLIZACIÓN

CONOCEMOS LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN LA
DISPONIBILIDAD DE LOS IONES

CONOCEMOS LOS IONES EN LA SOLUCIÓN
DEL SUELO