

CATIONES

**Calcio – Magnesio - Potasio
Sodio**

Amabelia del Pino

Bibliografía

- **Nutrición catiónica (Código 449)**

¿Cómo se encuentran los cationes en los suelos?

- Estructura de minerales primarios
- Estructura de minerales secundarios
- Intercambiable
- En solución

Cationes en los suelos provienen de:

- minerales primarios

- Ca: Feldespatos, piroxenos, anfíboles
- Mg: Piroxenos, anfíboles, olivina, biotita
- K: Feldespatos, ortosa, microclina, muscovita, biotita

- minerales secundarios

- minerales arcillosos
- precipitados

- Los contenidos de cationes en suelos naturales dependen fundamentalmente del material de origen y de los procesos de meteorización y lixiviación

- Los minerales primarios y secundarios son fuentes de cationes para las plantas en el largo plazo

Influencia del material de origen en los contenidos en los suelos

Material	CaO	MgO	K ₂ O
	%		
Rocas ígneas ácidas	1.3	0.5	4.1
Rocas ígneas básicas	11.1	8.1	0.9
Areniscas	4.0	1.5	1.3
Lutitas	4.7	2.9	-

Influencia de la génesis del suelo en los contenidos de bases

EFFECTO DEL CLIMA

Región	Tropical húmeda	Templada	Árida
Suelo	Oxisoles	Molisoles Alfisoles	Aridisoles
% Ca	0.5	1.0	5.0

Cuanto más lluvioso es el clima se produce mayor pérdida de bases por lixiviación desde los horizontes superficiales del suelo

- Los contenidos de cationes en suelos naturales dependen fundamentalmente del material de origen y de los procesos de meteorización y lixiviación

- Los minerales primarios y secundarios son fuentes de cationes para las plantas en el largo plazo

- Las fuentes para las plantas en el corto plazo son cationes intercambiables y en la solución del suelo

- Si bien estos cationes se encuentran en forma hidratada, en general nos referimos a ellos como iones: Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; K^{+} ; Na^{+}

CONCEPTOS BÁSICOS

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC)

Los coloides del suelo (arcilla, materia orgánica, óxidos e hidróxidos de Fe y Al) están cargados eléctricamente

Estas cargas son: 1) permanentes
 2) dependientes del pH

Generalmente la carga neta es negativa, por lo que los coloides del suelo retienen cationes.

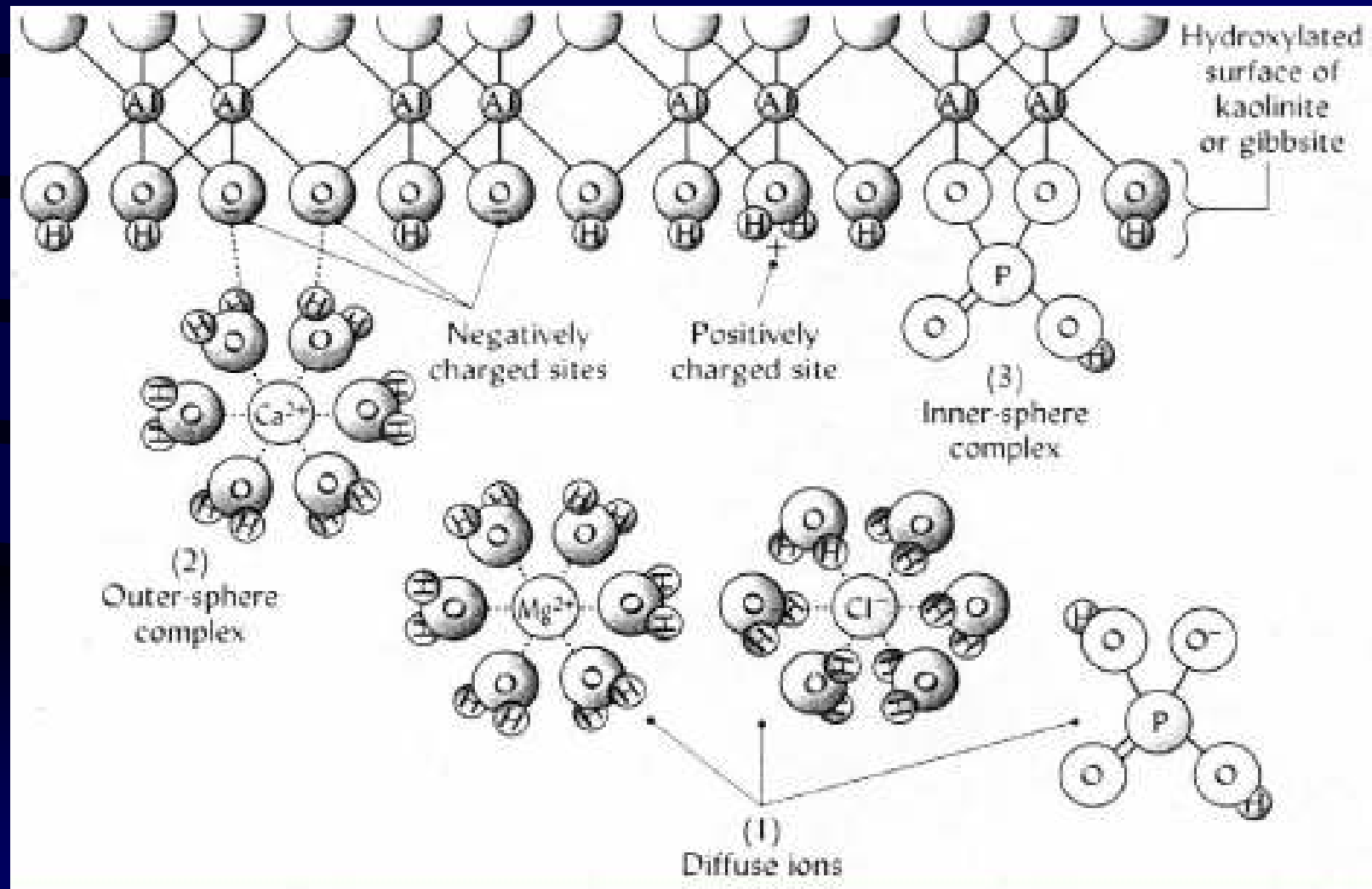
La CIC es la cuantificación de la capacidad del suelo de retener cationes.

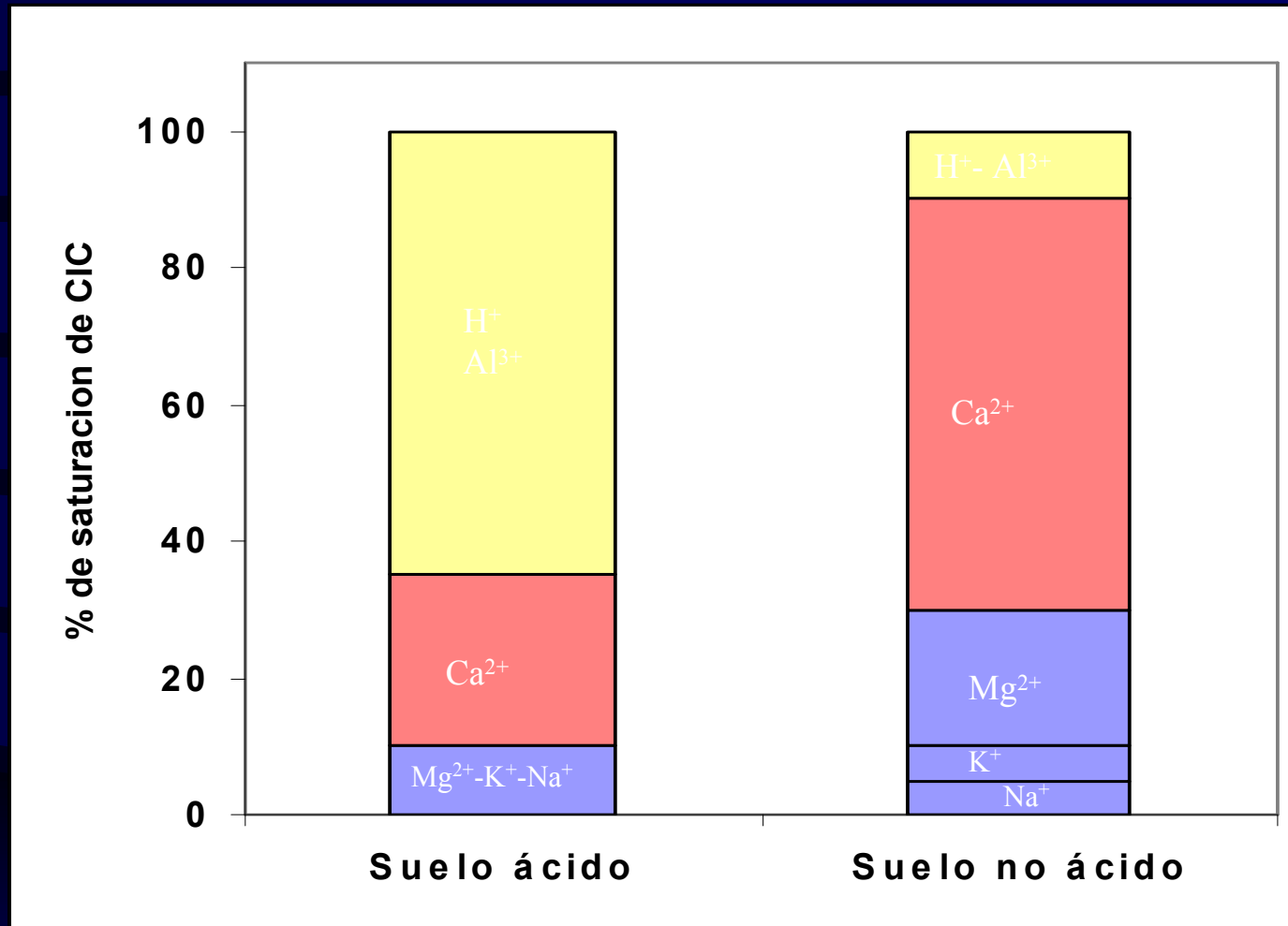
Las posiciones de intercambio están ocupadas por:

- Bases: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , Na^{+}
- H^{+} , Al^{3+} , Mn^{2+} , Fe^{3+}

En Uruguay la CIC se expresa como meq/100 g de suelo ó cmol_c/kg

cationes en solución e intercambiables





Adaptado d McLaren y Cameron, 1998

Una alta saturación en bases (fundamentalmente Ca y Mg) produce la floculación de los coloides y por lo tanto tiene efecto positivo sobre la agregación del suelo

Proporción de cationes intercambiables que se encuentra en la solución

Catión	Interc.	Solución	Soluc./Interc.
	cmol _c kg ⁻¹		%
Calcio	34.4	0.175	0.5
Magnesio	7.8	0.074	0.9
Potasio	0.9	0.011	1.2
Sodio	0.5	0.016	3.1

- La cantidad en solución es muchas veces menor al intercambiable
- El % en solución es inverso al potencial iónico (carga/ radio iónico)



- **Cationes intercambiables y en solución también son llamados formas asimilables o disponibles de los cationes**
- **Su contenido se expresa en:**
 - **Miliequivalentes cada 100 gramos de suelo (meq / 100 g)**
 - **Centimoles carga cada 1 kilogramo de suelo (cmol_c/ kg)****Ambas expresiones tienen el mismo valor numérico**

Ejemplo:

Masa molar de Ca²⁺ = 40 g

Carga del Ca = 2

1 eq de Ca pesa 40/2 = 20; => 1 meq pesa 20/1000= 0.020 g = 20 mg

1 mol_c de Ca pesa 40/2 = 20; => 1 cmol_c pesa 20/100= 0.2 g = 200 mg

Concluyendo: Si el contenido de Ca intercambiable del suelo es:

1 meq/100g, también se puede expresar como 1 cmol_c/kg

Contenido de cationes intercambiables en los suelos de Uruguay (0-20 cm)

- Rango de contenidos absolutos
 - Ca: 0.5 – 30 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$
 - Mg: 0.3 – 10 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$
 - K: 0.1 – 1.5 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$
 - Na: 0.1 – 2.0 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$
- Promedio de contenidos relativos (% de BT)
 - Ca: 70 – 80 %
 - Mg: 10 – 20 %
 - K + Na: 10 %

Algunas situaciones en las que los contenidos de cationes se apartan de esas proporciones:

- **Suelos deficientes en Mg**
- **Suelos con altos niveles de K interc**
- **Suelos desaturados lixiviados**
- **Suelos sódicos**
- **Suelos con altas aplicaciones de fertilizantes y enmiendas**
- **Riego con aguas salinas (Ca ; Na)**

Contenidos de cationes en algunos suelos del Uruguay

Suelo	CIC pH 7	Ca	Mg	K	Na	B.T.	Sat. Bases
		cmol _c kg ⁻¹					%
Vertisol I-TA	33.2	20.8	5.8	0.4	0.4	27.3	82
Brunosol Bq	34.8	27.0	1.9	1.5	1.5	30.6	88
Brunosol CC	17.9	8.9	1.8	0.4	0.3	11.4	64
Planosol RB	10.5	3.8	1.6	0.2	0.2	5.8	55
Acrisol Ta	4.5	1.3	0.5	0.2	0.1	2.1	4.7
Solonetz RR	9.2	2.6	2.2	0.4	2.0	7.2	78

Nota: Suelos de campo natural

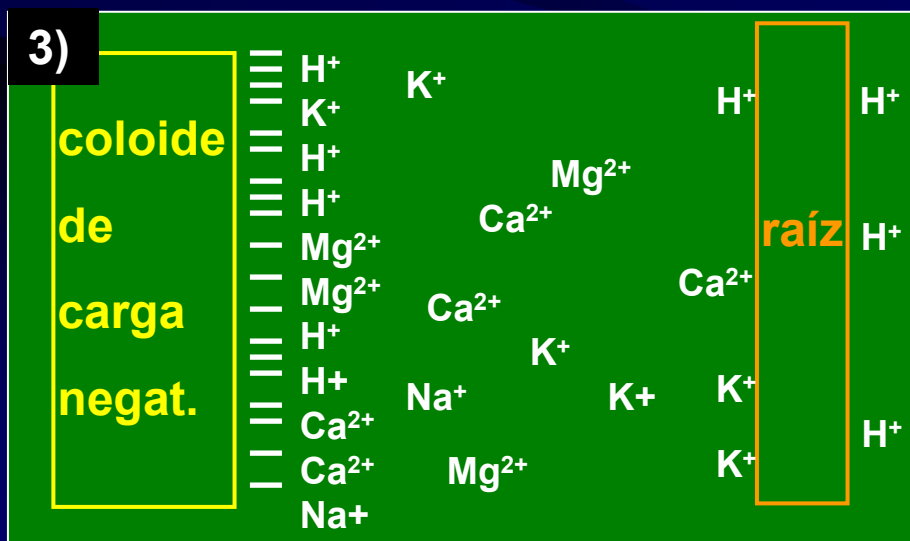
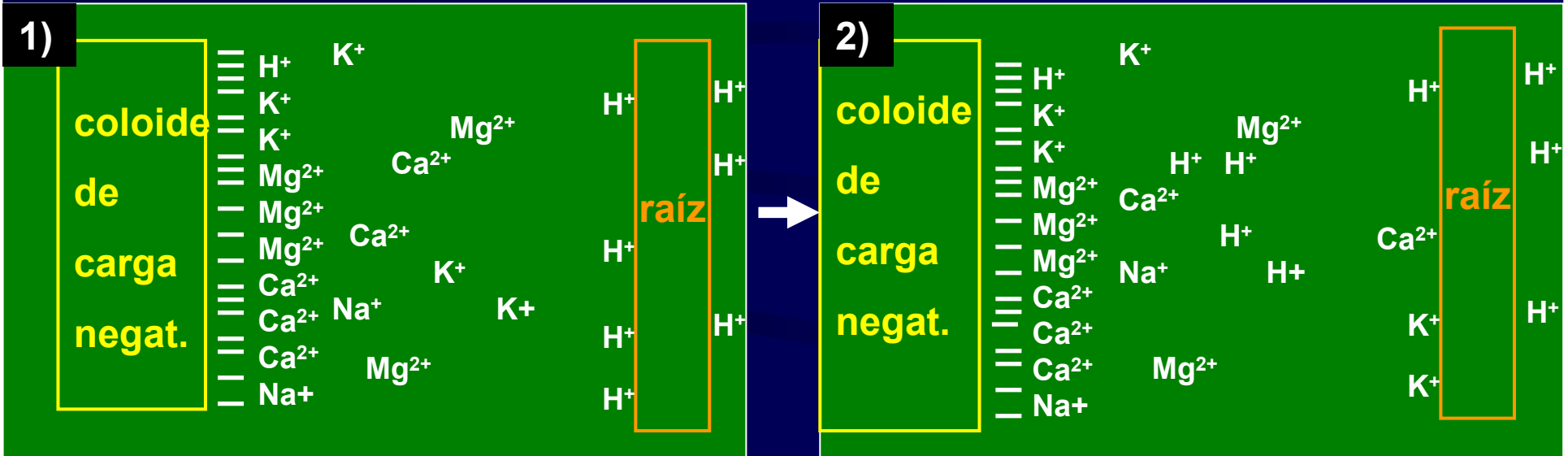
Hernández y Zamalvide, 1990

Ca: 0.5 – 30 cmolc kg⁻¹

Mg: 0.3 – 10 cmolc kg⁻¹

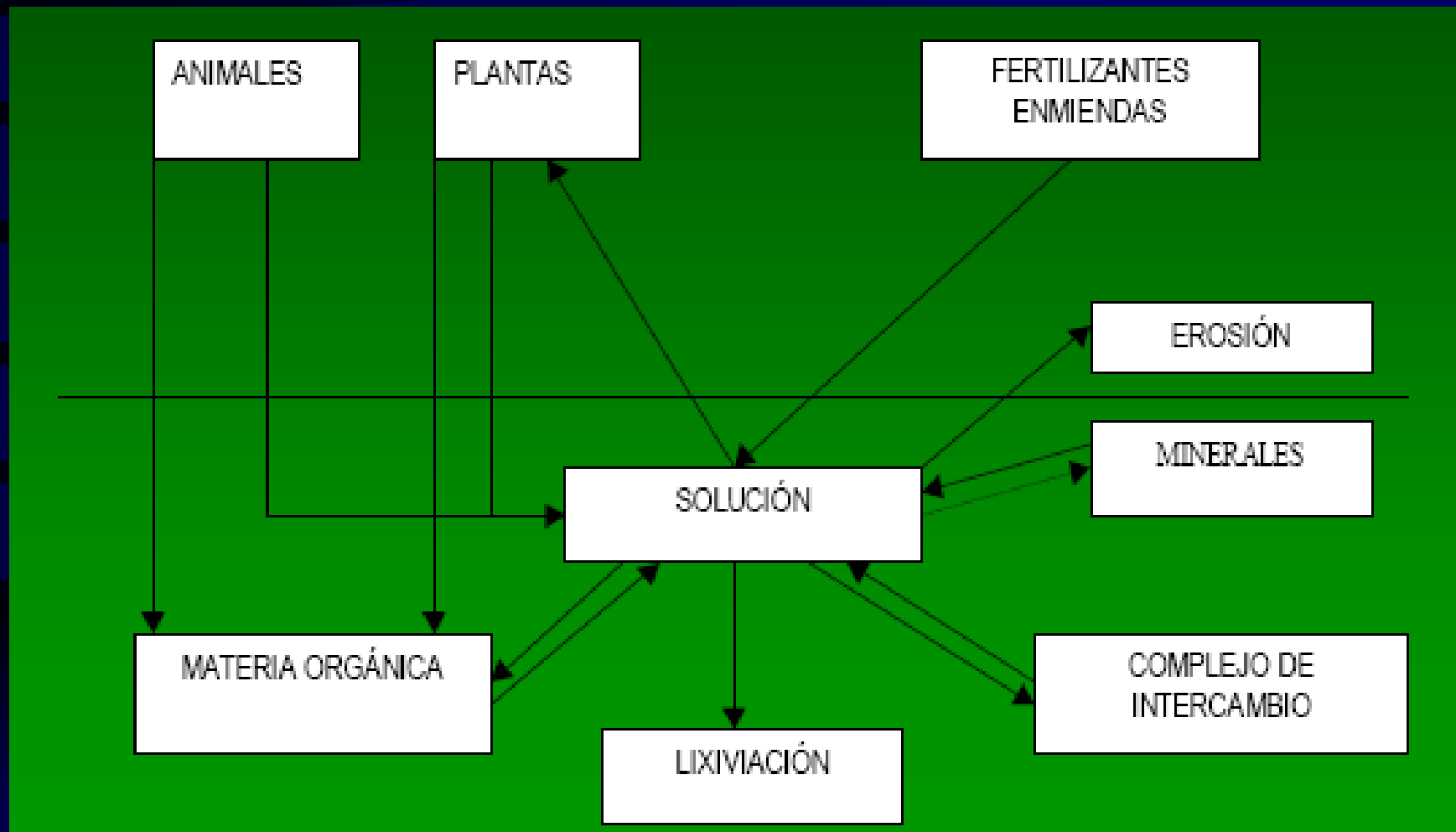
K: 0.1 – 1.5 cmolc kg⁻¹

A medida que las plantas absorben los cationes de la solución estos son repuestos desde el pool intercambiable



Adaptado de
MacLaren y Cameron, 1996

Ciclo de los cationes



- Las plantas toman los cationes de la solución del suelo
- Si bien las flechas indican procesos su velocidad es muy variable

Exportación anual promedio de nutrientes en diferentes cultivos

Especie	Biomasa Ton ha ⁻¹ año ⁻¹	N	P	K	Ca	Mg
		kg ha ⁻¹ año ⁻¹				
Alfalfa	10	200	20	170	125	24
Maíz (planta entera)	20	260	46	172	31	31
Maíz (grano)	10	150	27	37	2	9
Trigo (grano)	3	56	13	14	1	7
<i>Eucalyptus dunnii</i>	16	15	2	10	27	11

Nota - La información presentada proviene de experimentos y tiene como objetivo mostrar tendencias

CALCIO

Ca en los suelos

- El Ca^{+2} intercambiable es el catión mayoritario entre las bases intercambiables
- El contenido de Ca^{+2} depende principalmente del material parental y del contenido de arcilla y materia orgánica de los suelos
- Normalmente las cantidades de Ca^{+2} presentes en los suelos exceden largamente las necesidades de los cultivos

El Ca en las plantas

- El Ca es un macronutriente esencial para las plantas
- La concentración de Ca en tejidos vegetales puede llegar a 2 % de la materia seca, siendo el rango más frecuente de 0.2 a 1%
- Las monocotiledóneas (cereales P.ej) tienen menores concentraciones de Ca que dicotiledóneas (leguminosas P.ej)
- El Ca es un constituyente de la pared celular (función estructural). Regula la permeabilidad de las membranas. Es esencial para la elongación de las células en los puntos de crecimiento
- El Ca cumple además funciones osmóticas

Absorción y translocación de Ca

Absorción

- Como ión Ca^{+2}
- Absorción por raíces jóvenes
- Proceso pasivo (no requiere energía)

Translocación

- Controlada por flujo xilemático
- Translocación muy lenta; deficiencia: hojas nuevas
- Escasa removilización del Ca de hojas viejas
- Por lo tanto debe ser absorbido continuamente
- Compuestos: oxalatos, fosfatos, fitatos, pectatos

Deficiencias de Ca para los cultivos

- **Se producen deficiencias de Ca cuando los requerimientos de las plantas son mayores a la capacidad de absorción**
- **Se habla de deficiencias indirectas ya que no siempre corresponden a falta de Ca en el suelo**
- **Situaciones:**
 - Problemas radiculares
 - Crecimiento muy rápido => Floración, fructificación
- **Dificultad de diagnóstico**
- **Solución: Aplicación foliar (quelatos)**

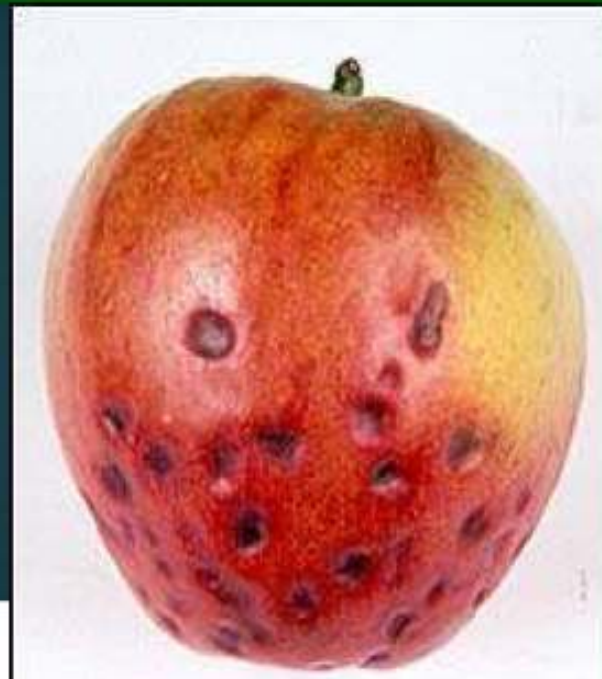
Deficiencias de Ca

- Los órganos de almacenamiento (frutos, tubérculos) tienen baja tasa de transpiración en relación a su tamaño
- Existen mecanismos para evitar el almacenamiento de Ca en órganos que crecen rápidamente, a fin de permitir la expansión de las células
- Estos factores pueden provocar que el suministro de Ca sea insuficiente

Bitter pit en manzana



Symptoms of cork spot on Golden Delicious apple fruit.



Deficiencias de Ca

Podredumbre apical en tomate



- Un problema con estas deficiencias es que muchas veces el análisis foliar presenta niveles de suficiencia
- Además del tomate se presentan problemas similares en morrones, sandías, zapallos, etc.
- Aunque no presenten síntomas, la deficiencia de Ca en frutos dificulta la conservación

MAGNESIO

Mg en los suelos

- La proporción de Mg^{+2} intercambiable en los suelos es generalmente menor a la de Ca^{+2} (cerca de 20 % de BT)
- El contenido de Mg^{+2} depende principalmente del material parental y del contenido de arcilla y materia orgánica de los suelos

El Mg en las plantas

- El Mg es un macronutriente esencial para las plantas
- Forma parte de la clorofila, pero también cumple otras funciones (promueve reacciones enzimáticas, regulación de pH celular, balance de cationes y aniones)
- La concentración de Mg en tejidos vegetales es generalmente menor a 0.5 %
- Las gramíneas (cereales P.ej) tienen menores concentraciones de Mg que dicotiledóneas (leguminosas P.ej)

Absorción y translocación de Mg

Absorción

- Como ión Mg^{+2}
- Problema de competencia con otros iones por absorción
- Proceso pasivo

Translocación

- Nutriente móvil en la planta; deficiencia: hojas viejas (removilización)
- Translocación como malato y citrato

Deficiencia de Mg

Diagnóstico de deficiencia de Mg

Análisis de suelo => Mg^{2+} intercambiable

- Contenido absoluto de Mg^{2+}
- Contenido relativo de Mg^{2+} – Competencia por absorción
 - % de CIC < 20 %
 - Relación Ca/Mg: > 10:1 - 15:1
 - Relación K/Mg > 0.6:1

Análisis Foliar => Concentración de Mg en tejido vegetal

- Nivel crítico según especie (variedad), órgano muestreado, momento del ciclo
- Niveles críticos entre 0.15 y 0.35 % de la materia seca.
- Se necesitan referencias específicas para cada situación

Mg en los suelos de Uruguay (0-20 cm)

Magnesio: contenidos y relaciones con CIC y cationes

Suelo	CIC	Mg	Mg/CIC	Ca/Mg	K/Mg
	cmol _c kg ⁻¹	%			
Vertisol I-TA	27.3	5.8	21	3.5	0.1
Brunosol Bq	30.6	1.9	6.0	14.2	0.8
Acrisol Ta	3.2	0.7	22	3.0	0.3

% CIC < 20 %

Ca/Mg: > 10:1 - 15:1

K/Mg > 0.6:1

Competencia del Mg con otros iones por absorción

Se estudió la absorción de Mg marcado (^{28}Mg) por plántulas de cebada

(Adaptado de Marschner, 2003)

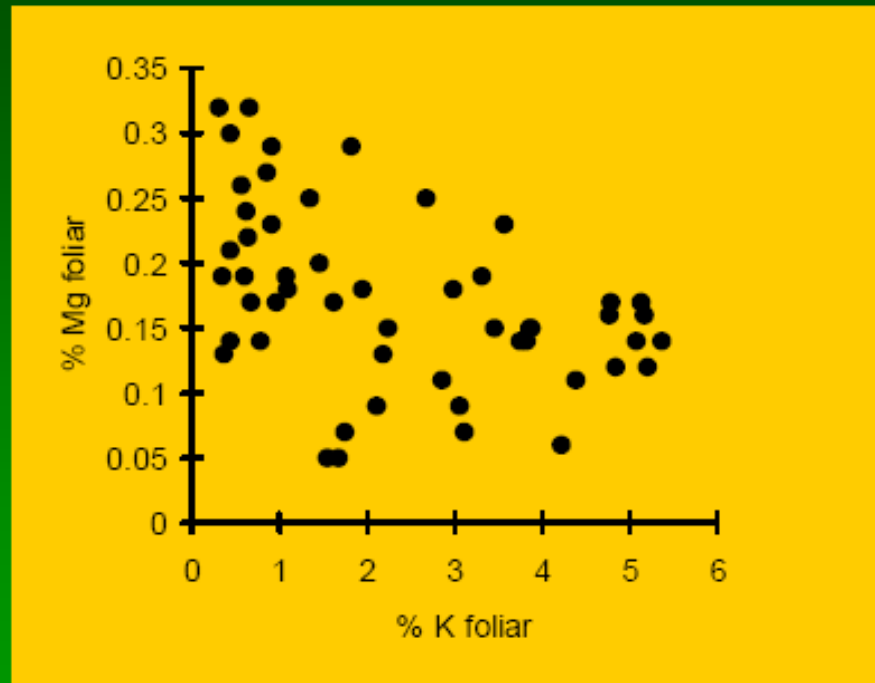
	Nutrientes agregados a la solución nutritiva		
	MgCl_2	$\text{MgCl}_2 + \text{CaSO}_4$	$\text{MgCl}_2 + \text{CaSO}_4 + \text{KCl}$
	Mg^{+2} absorbido ($\mu\text{eq Mg}/10\text{g}$ de tejido fresco/8hs)		
Raíces	165	115	15
Parte aérea	88	25	6.5

Este efecto de competencia no es comparable al que ejerce el Mg sobre los otros cationes.

Se ha visto que la absorción de K es sólo ligeramente menor en presencia de altos niveles de Mg

Interacción Potasio- Magnesio

Interacción Potasio - Magnesio



Hernández et al, 1990

- La absorción de K y Mg están negativamente correlacionadas
- La figura muestra la relación entre contenidos de Mg y K de plantas de raigrás en diferentes suelos
- La enfermedad de vacas en lactación “hipomagnesemia” o “tetania de las gramíneas”, se debe al consumo de forrajes con bajo contenido de Mg
- Este problema puede ocurrir cuando el suministro de Mg es insuficiente o cuando el suministro de K es excesivo

La deficiencia de Mg se manifiesta como clorosis



Clorosis internerval característica de deficiencia de Mg en soja (izquierda), vid (centro) y tomate (derecha)

Generalmente la sintomatología visual de deficiencia no es suficiente, debe ser corroborada por análisis químicos de suelo y plantas

Mg: Situaciones problema en Uruguay

- La deficiencia de Mg no es un problema generalizado en Uruguay, se limita a algunos suelos y algunos cultivos (Situaciones suelo-cultivo)
- **Suelos:**
 - Bajo contenido de Mg
 - Baja saturación de la CIC
 - Relaciones catiónicas desfavorables
 - Estos problemas pueden ser debidos a características del suelo, o al manejo (fertilización con K, encalado)
- **Cultivos sensibles**
 - Especies y variedades
 - Porta-injertos (viña SO4)
- **Cultivos de alto potencial productivo**
 - Fruticultura: citrus, vid
 - Horticultura: tomate, morrón
 - Deficiencia de Mg inducida por agregado de K

Fertilización con Mg

- Caliza dolomítica
- Sulfato doble de K y Mg

También aptos para aplicación foliar:

- Sulfato de Mg
- Nitrato de Mg
- Cloruro de Mg

SODIO

Problemática del Na

- El Na, a diferencia de los anteriores, no está probado que sea un nutriente esencial para las plantas
- Algunas especies han mostrado respuesta positiva al Na bajo condiciones de escasez (remolacha, espinaca y algunas familias de especies C₄ Ej. ciperáceas)
- Aún para estas especies en general los suelos tienen suficiente capacidad de aporte de Na
- El Na puede sustituir al K en ciertas funciones en las plantas (especialmente relacionadas a mantenimiento de la turgencia). Capacidad limitada
- **La problemática del Na en los suelos está más frecuentemente relacionada al exceso de Na (más de 15% de la CIC)**

Situaciones de exceso de Na

- El exceso de Na en los suelos afecta las propiedades físicas – Los coloides permanecen en estado disperso y existe pobre agregación e insuficiente aireación
- También tiene efecto sobre el pH, pudiendo provocar deficiencia de micronutrientes debido al pH alto
- En suelos salinos existe un efecto osmótico de la alta concentración de sales en la solución del suelo que afecta negativamente las plantas (absorción de agua)
- La ocurrencia de situaciones de exceso de Na pueden estar relacionadas al origen del suelo o al manejo (Problemas de aguas de riego)

Soluciones al exceso de Na

- **Dependen del origen del exceso de Na**
- **En general no existen soluciones para suelos en los que el exceso se produce naturalmente**
- **En caso de exceso producido por manejo debe cambiarse el mismo (P. Ej. cambio de fuente de agua, riegos frecuentes para evitar concentración de sales).**
- **Otra solución es tratar de revertir el proceso: lavado del suelo, acidificación**
- **Debe tenerse en cuenta que existen especies y variedades más tolerantes que otras a condiciones de alta salinidad y al exceso de Na**