


IPNI
 INTERNATIONAL
 PLANT NUTRITION
 INSTITUTE


INTA
 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

Curso Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos
 Programa de Posgrado en Ciencias Agrarias
 Unidad Integrada FCA-INTA Balcarce
 Balcarce, 24 de Octubre de 2011

Las Bases: Potasio, Calcio y Magnesio

FERNANDO O. GARCÍA
 INSTITUTO INTERNACIONAL DE
 NUTRICIÓN DE PLANTAS
 WWW.IPNI.NET/LASC

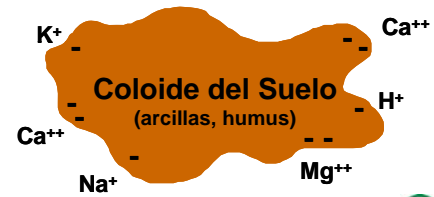
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

El número total de cationes intercambiables que un suelo puede retener
 (Cantidad de sus cargas negativas)




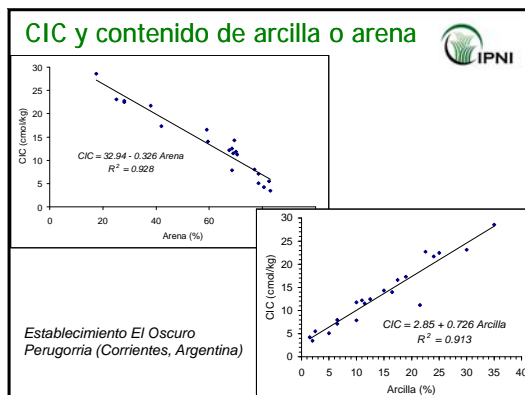


Los coloides cargados negativamente atraen a los cationes



Coloide del Suelo
(arcillas, humus)





Deficiencias de K en soja






Potasio

Requerimientos de los cultivos

Cultivo	Producción	Cantidad de K ₂ O absorbido
	toneladas	kg
Alfalfa	18	538
Arroz	6.0	130
Bananas	40	1000
Café	1.5	130
Festuca	10	265
Maíz	10	200
Maní	2.0	92
Papa	40	310
Soja	4	200
Tomates	50	286
Trigo	6	180



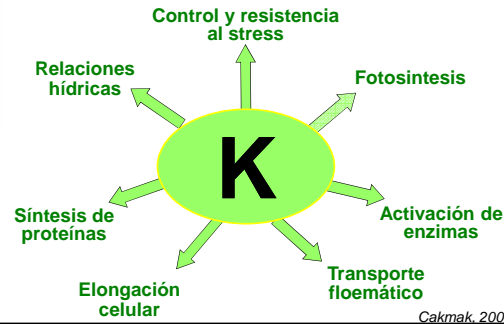
Potasio



Requerimientos de los cultivos

Cultivo	Absorción kg K/ton	Índice de Cosecha	Extracción kg K/ton
Soja	33	0.59	19
Trigo	19	0.17	3.2
Maíz	19	0.20	4.0
Girasol	28	0.25	7.0
Colza	65	0.43	26
Alfalfa	21		

Rol del K en las plantas



El potasio en las plantas y cultivos



- No forma compuestos estructurales, existe como K⁺
- Regula la fuerza iónica de las soluciones
- Involucrado en la actividad de más de 80 enzimas
- Regula la presión osmótica (por ej. apertura y cierre de estomas) y la transpiración
- Funciones en intercambios de energía, translocación de asimilados, absorción de N y síntesis de proteínas
- Las deficiencias se observan como clorosis y necrosis desde los bordes hacia el centro de las hojas inferiores, tallos débiles o quebradizos
- La adecuada provisión de K resulta en una mayor resistencia a enfermedades e insectos y a una mejor calidad en los productos de cosecha (frutas)
- Mejora la calidad: *Aceite y proteína en soja, panificación en trigo, micronaire y resistencia de fibras en algodón, tamaño, color, sólidos solubles y vitamina C en citrus, maduración uniforme en uvas.*

K: Resistencia a enfermedades



- La adecuada nutrición potásica disminuye la susceptibilidad de las plantas a enfermedades severas (parásitos obligados o facultativos)
- En plantas deficientes, la síntesis de compuestos orgánicos de alto peso molecular (proteínas, almidón, celulosa) es afectada y se acumulan compuestos de bajo peso molecular (azúcares, aminoácidos)
- Ejemplos: Royas, mildiu, manchas foliares, podredumbres, manchas y podredumbres bacterianas
- Putrescina en uvas en Chile (Ruiz and Sadzawka, 2005)

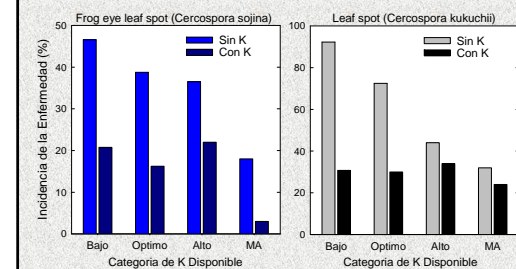
Marschner, 1995

Efecto del nitrógeno y el potasio en la expresión de enfermedades

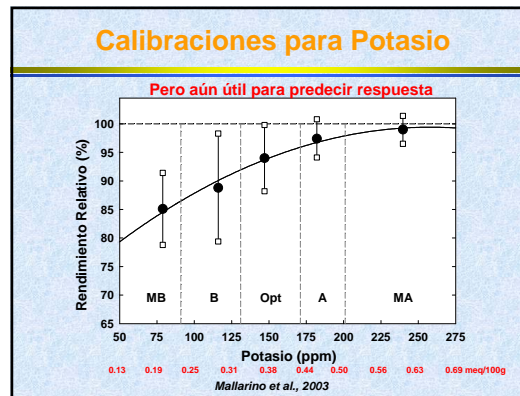
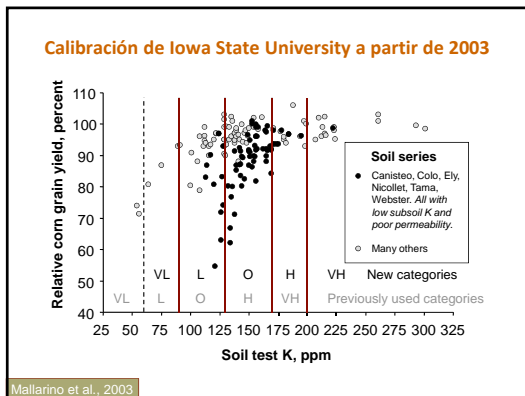
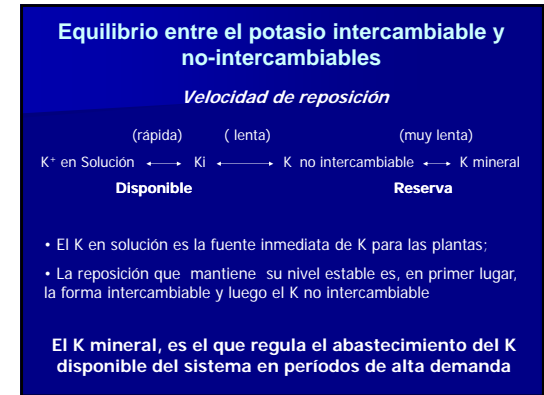
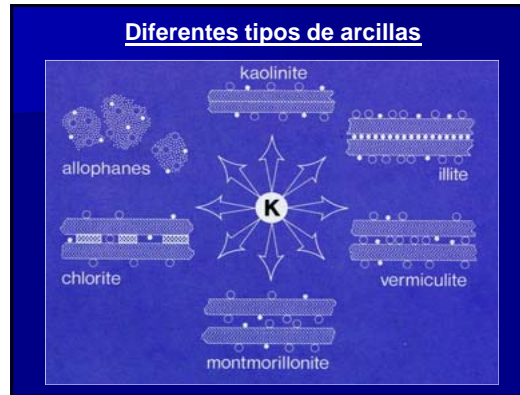
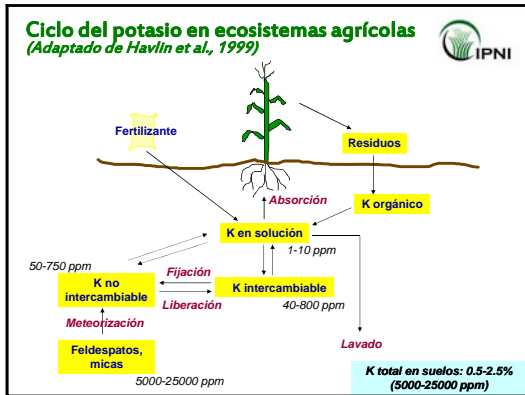
	Nivel de N		Nivel de K	
	Alto	Bajo	Alto	Bajo
Biotróficos				
Royas	+++	+	+	++++
Mildius	+++	+	+	++++
Necrotrofos				
<i>Drechslera</i>	+	+++	+	++++
Fusarium	+	+++	+	++++

Fuente: Carmona, 2011

Enfermedades de Soja y Potasio



Fuente: Clover, Mallarino, Mueller, 2008



Recomendaciones de fertilización potásica en Iowa

Potasio Disponible (0-15 cm): Categorías y Rangos

Método de Análisis	Muy bajo	Bajo	Óptimo	Alto	Muy alto
Acetato de amonio o Mehlich-3	0-90	91-130	131-170	171-200	201+

ppm

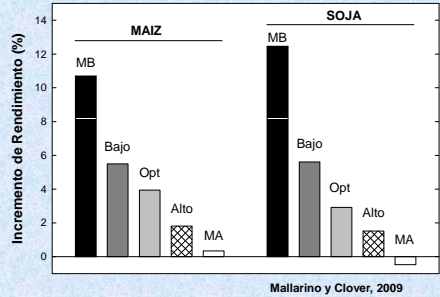
Cultivo	Dosis de K ₂ O a Aplicar (kg/ha)				
Maíz	130	90	45	0	0
Soja	120	90	75	0	0
Rotación	220	165	120	0	0

Subir, lentamente

Mantener, asume 9400 y 3400 kg/ha de maíz y soja, se ajusta para cada campo

Mallarino et al., 2003

Respuesta y Categorías Interpretativas



Niveles críticos de K en Brasil

Interpretación de análisis en RS/SC
Extractante Mehlich I (mg/dm³ o mg/kg)

Limitante	Muy bajo	Bajo	Medio	Suficiente	Alto
	< 20	21-40	41-60	61-80	81-120

Interpretación de análisis en el Estado de Sao Paulo
Extractante Resina (mmol/dm³)

Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
< 0.7	0.8-1.5	1.6-3.0	3.1-6.0	> 6.0

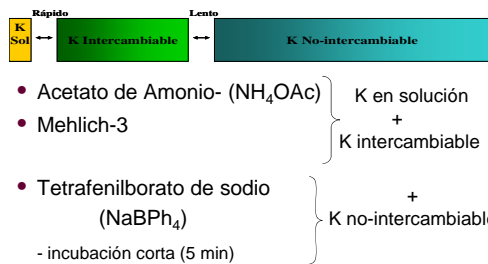
meq/100 g *10 = mmol/dm³

Análisis de suelos Métodos de determinación de K, Ca y Mg



- Método de Acetato de amonio (pH 7, 1M), el más utilizado para K, Ca y Mg intercambiables
- Extracción con bicarbonato de amonio + DTPA (zonas áridas)
- Mehlich I y III
- Morgan y Morgan modificado
- Resinas de intercambio iónico
- Electroultrafiltración (EUF)

Análisis de suelo para Potasio



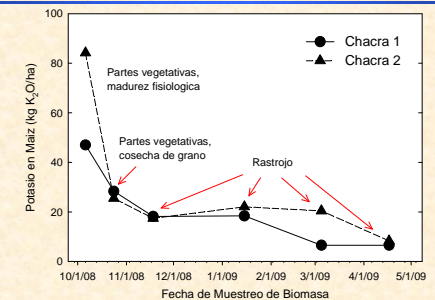
Mehlich, 1984; Wamkey-Brown, 1999; Cox et al., 1999

Problemático Diagnóstico de K Disponible

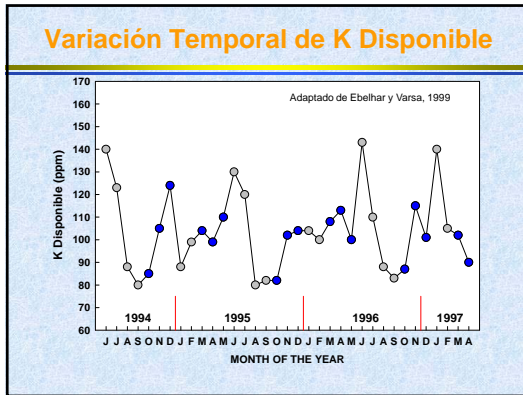
- Incertidumbre del análisis de suelo, la que es mucho mayor que para P o pH
- Variación temporal de K disponible:
 - » absorción y reciclaje con residuos
 - » equilibrios entre fracciones en el suelo
- Varios factores afectan la necesidad de K
 - » interacción con enfermedades/ insectos
 - » compactación o suelo muy suelto
 - » agua disponible, cantidad y época

Mallarino, 2010

Perdida de Potasio de Residuos

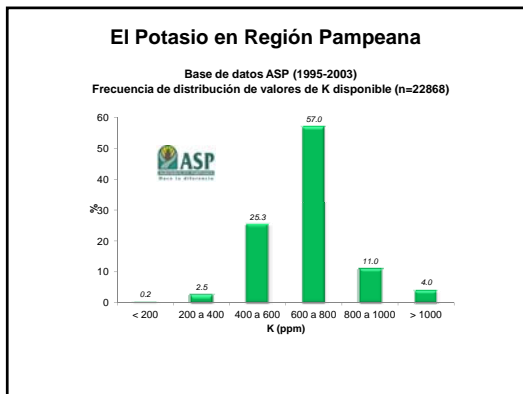
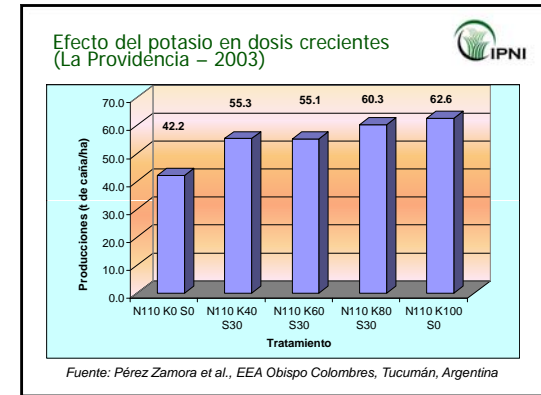


Mallarino, 2010



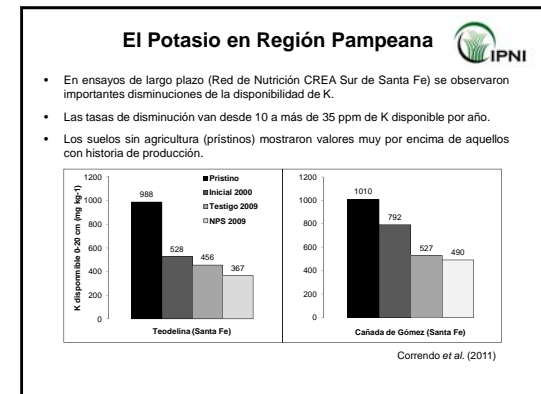
Respuestas de cultivos en suelos con alto K: ¿Por qué?

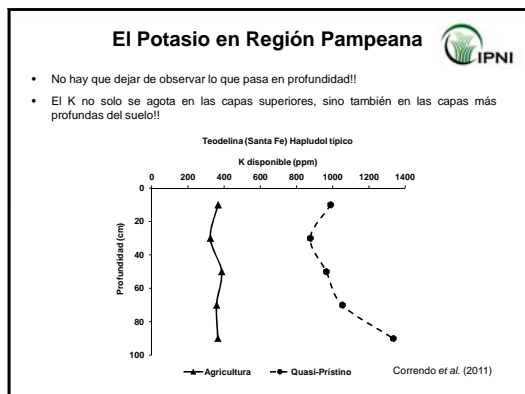
- Respuestas a K como resultado de:
 - Suelos fríos en la primavera (crecimiento de raíz y absorción de nutrientes lentos)
 - Suelos secos (reducción de la difusión de K)
 - Variabilidad a nivel de lote
 - Respuesta a Cl (u otro anión acompañante)



El Potasio en Región Pampeana

- Los suelos de la Región Pampeana Argentina son unos de los más ricos en K del mundo, debido a su composición mineralógica.
- En la actualidad se repone vía fertilización menos del 1% de la extracción de K por cosecha (Campaña 2009/10).
- Estimaciones recientes indican que los mayores tasas de extracción de K tienen lugar en la zona núcleo de la Región Pampeana (Cruzate y Casas, 2009).





Factores que afectan la disponibilidad y absorción de potasio

Del suelo

- Clase y contenido de arcillas
- Capacidad de intercambio catiónico
- Nivel de K intercambiable
- Capacidad de fijación de K
- K en subsuelo
- Temperatura y humedad
- Aireación
- pH
- Competencia con Ca y Mg

Del cultivo

- Capacidad de intercambio catiónico de raíces
- Cultivo y sistema radicular
- Especie, Híbrido o variedad
- Densidad de plantas
- Nivel de rendimiento

Prácticas de manejo y Fertilización

- Uso de N, P y otros nutrientes
- Ubicación del K
- Labranzas
- Drenaje

Reservas de Potasio

IPNI

- Depósitos de sales solubles en profundidad o en lechos antiguos de lagos o mares secos
- Canadá tiene las mayores reservas a nivel mundial (área de 700 km * 250 km a 900-2000 m de profundidad)
- La producción total anual de fertilizantes potásicos es de más de 25 millones de toneladas. Aparte de Canadá, otros productores importantes son Rusia, Bielorusia, Alemania, y EE.UU. Productores menores son Israel, Jordania, Brasil, y China.
- Argentina cuenta con reservas importantes aun no explotadas comercialmente en la zona de Neuquén/Mendoza

Fertilizantes Potásicos

IPNI

Fertilizante	Grado	K ₂ O	K	Otros nutrientes
				%
Cloruro de potasio	0-0-60	60	50	46 Cl
Sulfato de potasio	0-0-50	50	42	17 S
Nitrato de potasio	13-0-44	44	37	13 N
Sulfato de potasio y magnesio	0-0-22	22	18	11 Mg y 22 S
Fosfatos de potasio	Varios	30-50	25-42	13-26 P
Tiosulfato de potasio	0-0-25	25	21	17 S

Reacciones en el suelo

IPNI

$$\text{KCl} \longrightarrow \text{K}^+ + \text{Cl}^-$$

$$\text{K}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{K}^+ + \text{SO}_4^-$$

$$\text{KNO}_3 \longrightarrow \text{K}^+ + \text{NO}_3^-$$

La diferencia está el anión acompañante

Métodos de aplicación de fertilizantes Potásicos

IPNI

- El K tiene movilidad intermedia, presenta mayores eficiencias cuando es aplicado e incorporado en forma localizada pero también puede ser aplicado en cobertura
- En general, las mayores eficiencias se obtienen en aplicaciones pre-siembra o a la siembra de cultivos anuales

Uruguay

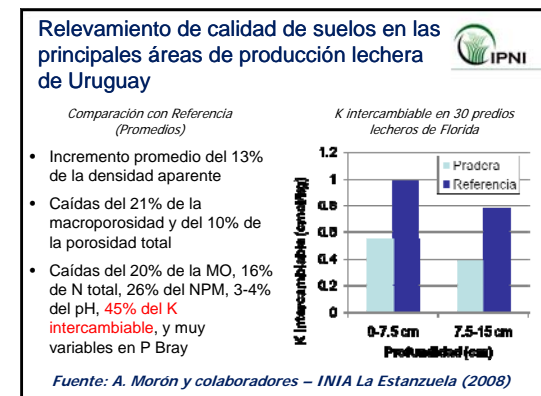
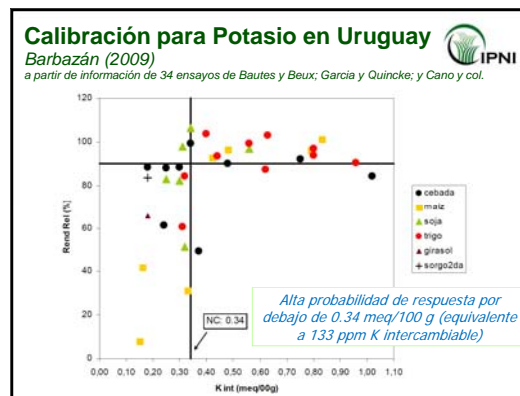
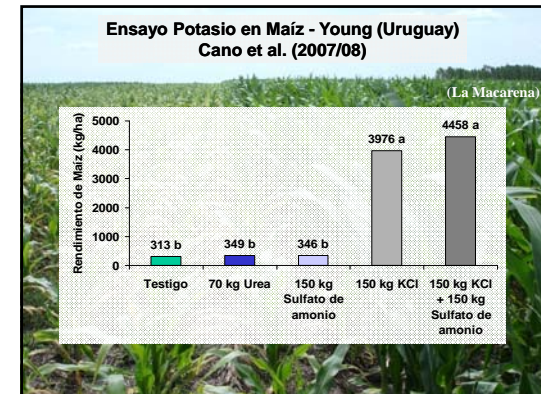
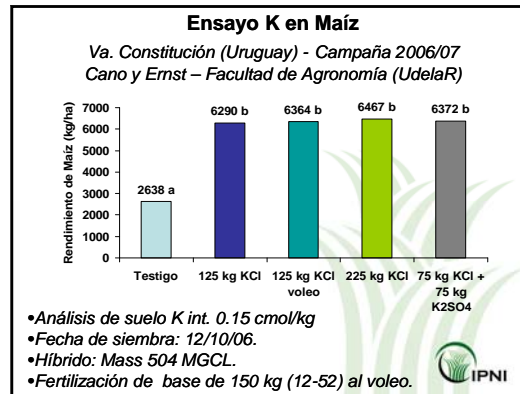
Exploración de deficiencias de K en maíz y sorgo en la región oeste

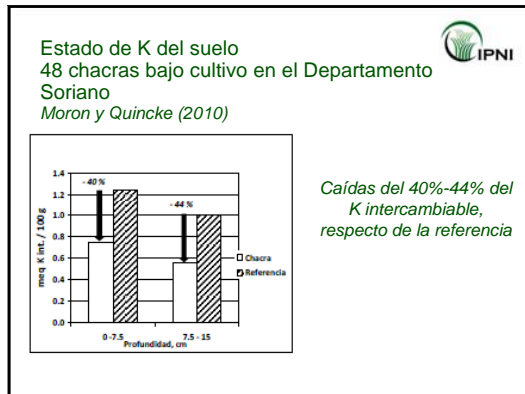


Problemas detectados en 2005/06



Ensayo en 2006/07 en V. Constitución (Salto)



Calcio y Magnesio

Requerimientos de los cultivos

Cultivo	Calcio			Magnesio		
	Absorción kg Ca/ton	Índice de Cosecha	Extracción kg Ca/ton	Absorción kg Mg/ton	Índice de Cosecha	Extracción kg Mg/ton
Soja	16	0.19	3.04	9	0.30	2.70
Trigo	3	0.14	0.42	3	0.50	1.50
Maiz	3	0.07	0.21	3	0.28	0.84
Girasol	18	0.08	1.44	11	0.28	3.08
Alfalfa	3			3		

El calcio en la nutrición vegetal

- ✓ El calcio se absorbe como Ca^{2+} y es abastecido a las raíces via flujo masal o intercepción
- ✓ Concentración promedio en plantas de 0.2-1%
- ✓ Constituyente de paredes y membranas celulares (estructura y estabilidad)
- ✓ Regulador de enzimas
- ✓ Es esencial para la elongación y división celular
- ✓ Es inmóvil en la planta
- ✓ Deficiencias: Rotura de membranas, falta de desarrollo de yemas terminales y apicales, desordenes fisiológicos en tejidos de almacenamiento (frutos) (bitter pit en manzano); menor crecimiento radicular en subsuelos pobres en Ca.
- ✓ Altos requerimientos de Ca en tomate, maní, apio, frutales, alfalfa, repollo, papa y remolacha



El magnesio en la nutrición vegetal

- ❖ El magnesio se absorbe como Mg^{2+} y es abastecido a las raíces via flujo masal o difusión
- ❖ Concentración promedio en plantas de 0.1-0.4%
- ❖ Constituyente de la clorófila y de ribosomas (síntesis proteica)
- ❖ Asociado a reacciones de transferencia de energía (ATP y enzimas)
- ❖ Es móvil en la planta
- ❖ Deficiencias: Clorosis internerval en hojas jóvenes
- ❖ Baja concentración de Mg en forrajes causa hipomagnesemia, en especial en gramíneas (competición con K y NH_4)



Calcio en el suelo



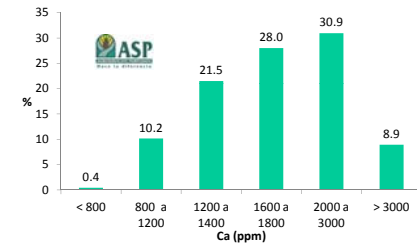
- ✓ Concentración total de 0.7-1.5%, hasta 10% en suelos de zonas áridas
- ✓ Origen: Minerales como anortita, piroxenos y anfíboles. Calcita, dolomita y yeso en zonas áridas
- ✓ Ciclo similar al de K
- ✓ Factores que afectan la disponibilidad:
 1. Disponibilidad total de Ca
 2. pH
 3. CIC
 4. Saturación de Ca (debe ser mayor de 25%)
 5. Tipo de coloides
 6. Relación con otros cationes

Contenido de calcio en los suelos

- Los suelos áridos y alcalinos generalmente contienen altos niveles de calcio
- Suelos nuevos muy drenados y orgánicos frecuentemente contienen bajo contenido de calcio
- Suelos arcillosos contienen mas Ca que los arenosos
- El calcio es esencialmente el catión intercambiable mas dominante.
- Normalmente ocupa entre 70 y 90 % de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo

El Calcio en Región Pampeana

Base de datos ASP (1995-2003)
Frecuencia de distribución de valores de Ca intercambiable (n=22868)



Magnesio en el suelo



- Concentración total de 0.1-4
- Origen: Minerales como biotita, dolomita, hornblenda, olivina y serpentina. Arcillas como clorita, illita, montmorillonita y vermiculita. También como epsomita y bloedita en climas áridos.
- Ciclo similar al de K
- Factores que afectan la disponibilidad:
 1. Disponibilidad total de Mg
 2. pH
 3. CIC
 4. Saturación de Mg: del 4-20%; no menor del 10%
 5. Tipo de coloides
 6. Relación con otros cationes

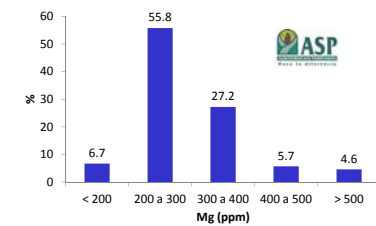
Magnesio en el suelo



- La mayoría de las deficiencias de Mg ocurren en suelos de textura "gruesa" (arenosos) y ácidos con baja CIC.
- Deficiencias en suelos alcalinos donde el agua contiene alta concentración de bicarbonatos.
- El Mg puede ser deficiente en suelos sódicos.
- Se sugiere un nivel crítico de Mg intercambiable de 25-50 ppm (0.2-0.4 cmol/kg)

El Magnesio en Región Pampeana

Base de datos ASP (1995-2003)
Frecuencia de distribución de valores de Mg intercambiable (n=22868)



Disponibilidad de cationes en el suelo

Relaciones

Porcentaje de saturación de la CIC

Ca	50-70%
Mg	10-15%
K	5%

Relaciones


Ca/Mg < 10-15
K/Mg < 2-5

(Havlin et al., 1999)

Relación ideal K:Mg:Ca 01:03:09 a 01:05:25

(Vitti, 2002)


Equivalencias para cationes



Catión	mg/kg por 1 cmol/kg (1)	kg/ha en 0-20 cm (2)
Ca	200	400
Mg	120	240
K	390	780

(1) 1 mg/kg es equivalente a 1 ppm, y 1 cmol/kg es equivalente a 1 meq/100g
(2) Considerando una densidad aparente de 1 Mg/m³ (o 1 g/cm³)


Concentraciones críticas de potasio, calcio y magnesio en planta



(Malavolta et al., 1997)

Nutriente	Maiz	Soja	Trigo	Arroz
	g/kg			
Potasio	17.5-22.5	17-25	23-25	25-35
Calcio	2.5-4.0	2-4	14	7.5-10.0
Magnesio	2.5-4.0	3-10	4	5-7
Muestreo	Hoja opuesta y por debajo de la espiga en aparición de estigmas	Primera hoja superior desarrollada, sin peciolo, al fin de floración	Primera a cuarta hoja desde la espiga al comienzo de floración	Hoja superior totalmente desarrollada en pleno macollaje

Fuentes comunes de calcio




Material	Contenido de Ca, %	Valor relativo de neutralización* (%)
Cal calcítica	32	85-100
Cal dolomítica	22	95-100
Escorias industriales	29	50-70
Yeso	22	Ninguno
Residuos de hornos (Gredas)	24	15-85
Cal hidratada	46	120-135
Cal "viva" quemada	60	150-175

* Comparado con carbonato de calcio 100% puro

- Superfosfato simple 18-21% - Superfosfato triple 12-14%
- Rocas fosfatadas 35%
- Estiércol y biosólidos 2-5%

Fuentes comunes de magnesio



Material	% de Magnesio
Cal dolomítica (carbonato de Ca y Mg)	3-12
Magnesita (óxido de Mg)	55-60
Escorias básicas	3
Sulfato de magnesio	9-20
Sulfato de potasio y magnesio	11
Cloruro de magnesio	7.5

- Nitrato de magnesio 16%

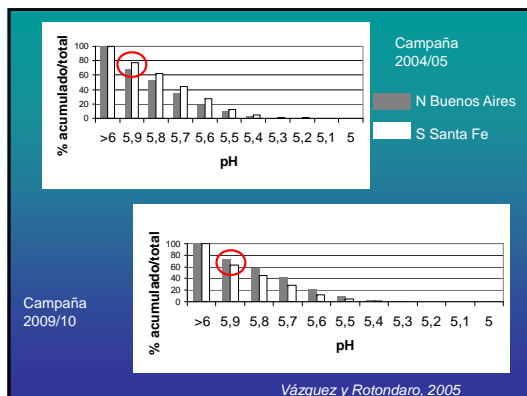
Acidificación en el ámbito templado argentino

CAUSAS

- **NATURALES**
 - meteorización y lavado de bases (Ca, Mg, K, Na)
- **ANTRÓPICAS**
 - exportación de bases por producción
 - fertilización ácida/lluvia ácida
 - aumento MO por siembra directa
 - mineralización de MO por laboreo




Fuente: Vázquez, 2011



Saturación Básica

$S \text{ (Saturación)} = (Ca + Mg + K + Na) / CIC$

S ideal 65 - 85 %

Saturación de las bases/S

- Cálctica: 65 a 85%
- Magnésica: 6 a 12%
- Potásica: 2 - 5%

Relaciones entre las bases intercambiables
Algunos valores de referencia

- Ca + Mg / K 7 - 11/1
- Ca / Mg 3 - 15 /1
- Mg / K 2 - 5/1

Fuente: Vázquez, 2011

Arroyito a Río Primero (2009)

Lotes	Porcentaje de Saturación de Bases Calculado			
	K+	Mg++	Ca++	Na+
Lote 5-B	10,2	9,4	56,1	0,8
Lote 24	9,4	10,2	47,1	0,6
Lote Norte A	7,6	8,8	51,9	0,9

Fontanetto, 2011

Río Cuarto (4 lotes - 2008)

Lotes	Porcentaje de Saturación de Bases Calculado			
	K+	Mg++	Ca++	Na+
A. Gigena 2	9,0	10,0	57,6	1,1
Río Cuarto 1	7,6	11,2	55,1	1,3
Río Cuarto 3	6,9	8,9	51,1	0,9
Río Cuarto 4	7,0	6,5	60,6	1,2

Fontanetto, 2011

Es importante medir la CIC, Ca y Mg al pH del suelo para hacer diagnóstico

Fuente: Vázquez, 2011

ENCALADO

Método de la saturación por bases

$$NC(t.ha^{-1}) = \frac{(SB_2 - SB_1)T}{PRNT}$$

NC = Necesidad de CAL en t/ha para la capa de 0-20cm.
 SB1 = Saturación por bases actual del suelo
 SB2 = Saturación por bases deseada para el cultivo
 T = Capacidad de intercambio catiónica potencial del suelo en cmolc/dm³ o meq/100cm³ de suelo
 PRNT = Poder relativo de neutralización total del calcáreo (%)

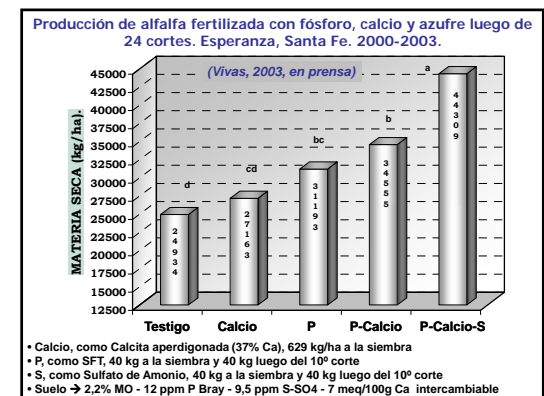
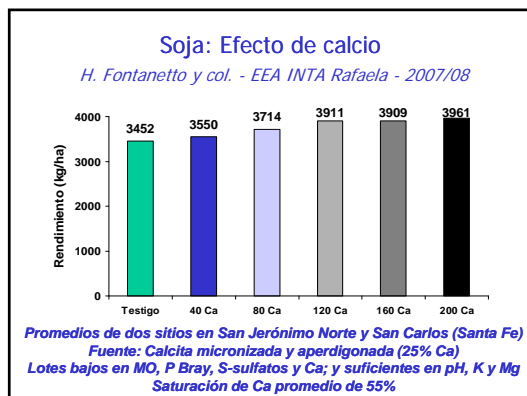
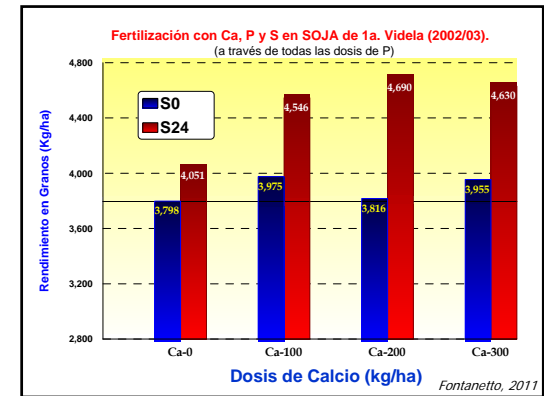
IPNI

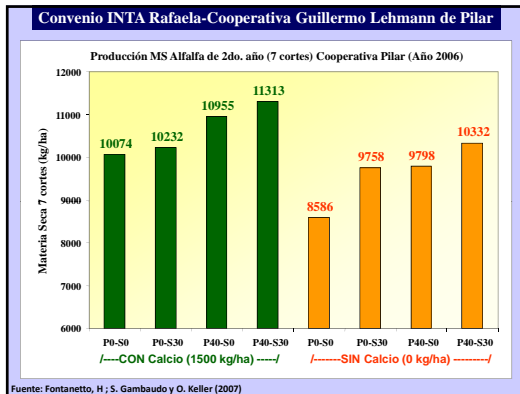


MAIZ: Efecto de dosis crecientes de Calcio

Tratamientos	San Jeronimo Norte		San Carlos	
	Rendimiento	Incrementos	Rendimiento	Incrementos
Dosis de Ca (kg/ha)	----- (kg/ha) -----			
0	10.332 a	-	10.675 a	-
40	10.412 ab	80	10.755 a	80
80	10.676 b	344	11.144 b	469
120	10.970 c	638	11.552 c	877
160	11.298 d	966	11.690 c	1.015
200	11.211 cd	879	11.705 c	1.030

Fuente: Fontanetto y col. (2010)





Corrección de suelos alcalinos y salinos/alcalinos

- No es fácil ni rápido,
- Se debe identificar y corregir las causas del exceso o acumulación de sal y sodio
- Establecer el drenaje interno del suelo
- El exceso de sodio debe ser reemplazado
- Agregar yeso (sulfato de calcio)**
 - Se disuelve lentamente y el calcio reemplaza al sodio en el complejo de intercambio, y el sodio es lixiviado de la zona radicular
 - La aplicación de yeso es efectiva sólo en suelos sódicos, no así en suelos salinos
- Acido sulfúrico y Azufre elemental puede solamente utilizarse para corregir suelos alcalinos si contienen carbonato de calcio libre**
 - El azufre elemental se convierte en ácido sulfúrico por los microorganismos del suelo, el cual reacciona con el carbonato de calcio y forma sulfato de calcio

Corrección de suelos alcalinos
Aplicación de Yeso

- Enmiendas para suelos alcalinos**
- Los suelos alcalinos son tratados con aplicaciones de yeso. La cantidad de producto a aplicar está directamente relacionada con la cantidad de Na que debe ser desplazado y se podría calcular de la siguiente manera:

$$\text{Ca de yeso a aplicar (cmol}_l \text{ / kg)} = \frac{\text{CIC (PSI inicial - PSI final)}}{100}$$
- El valor de PSI final, es el que uno desea alcanzar con posterioridad de la aplicación de la práctica de manejo de corrección, considerado comúnmente en el valor 10.

Ejemplo, para un suelo de PSI inicial = 30 y CIC = 25 cmol_l/kg

Ca de yeso (cmol_l/kg) = $\frac{25 \cdot (30-10)}{100} = 5 \text{ cmol}_l/\text{kg}$

1 cmol_l de Ca de yeso = 870 mg de yeso (22-23% Ca)

- Considerando una profundidad de corrección de 20 cm., en una ha de superficie, el Peso de la Capa Arable (PCA) sería:

PCA = Profundidad (m) * Superficie (m²) * Densidad (ton/m³) = 2600 ton/ha

La cantidad de yeso teórica requerida para esta profundidad:

Requerimiento de yeso (ton/ha) = Ca de yeso requerido (cmol_l/kg) * PCA (ton/ha) * 870 cmol_l/kg yeso * 10⁻⁶ = 11.3 tn/ha

- Se debe tener en cuenta que en términos generales, el yeso no es 100% puro, o sea presenta impurezas y la eficiencia de reemplazo de Na (sodio) por Ca no es del 100%. Se ha demostrado que en términos generales, la eficiencia del yeso es sólo de 60-75% en el reemplazo del Na intercambiable, por lo cual se debería tener en consideración estos aspectos para realizar el ajuste conveniente en cada situación.

Acumular materia seca en el lote reduce el impacto de salinidad y sodicidad