

ACIDEZ DEL SUELO

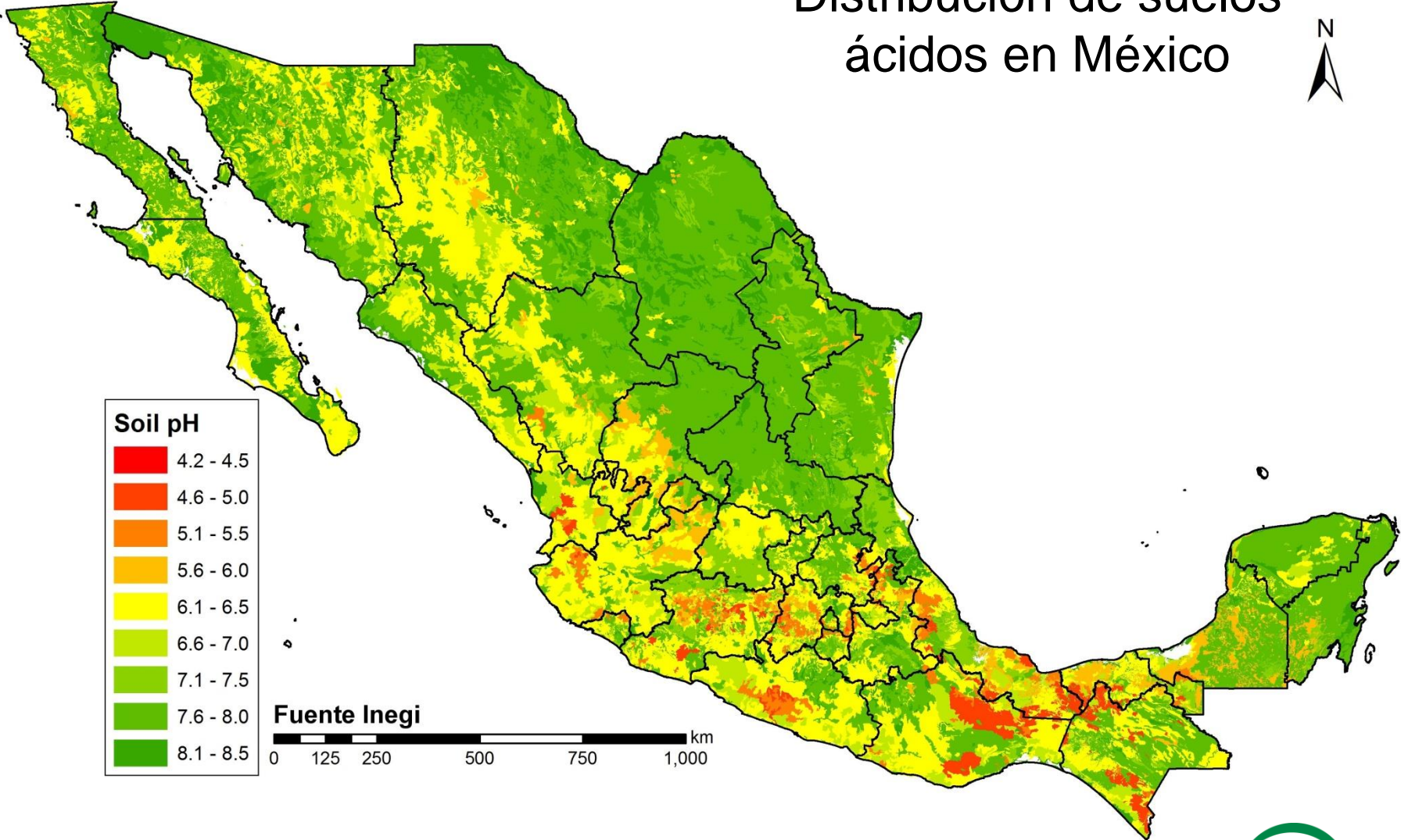
Dr. Armando Tasistro

Director, México y América Central, IPNI, Norcross, GA, EE.UU.

atasistro@ipni.net



Distribución de suelos ácidos en México



Soil pH

4.2 - 4.5
4.6 - 5.0
5.1 - 5.5
5.6 - 6.0
6.1 - 6.5
6.6 - 7.0
7.1 - 7.5
7.6 - 8.0
8.1 - 8.5

Fuente Inegi

0 125 250 500 750 1,000 km



Temario

- Medición de la acidez de los suelos
 - ▣ Capacidad/intensidad
 - ▣ Medición del pH de los suelos
- ¿Por qué se acidifican los suelos?
- Consecuencias de la acidificación
- ¿Cómo podemos corregir la acidez de los suelos?
- Análisis de ejemplos

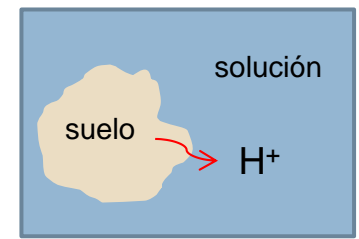
Medición de la acidez

Ácido

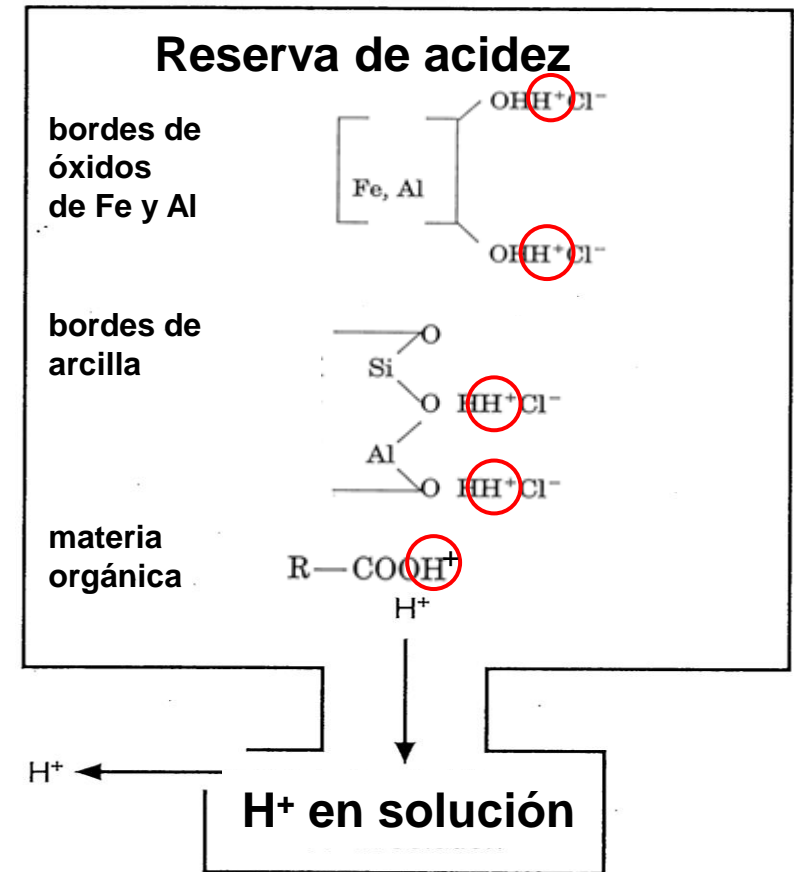
Compuesto que cede H^+



Capacidad vs. Intensidad



- Intensidad (H^+ en solución)
 - ▣ lo que está (= concentración) vs. lo que actúa (= actividad)
 - ▣ medida por pH
- Capacidad (= reserva)
 - ▣ capacidad amortiguadora (búfer o tampón)
 - ▣ requerimiento de cal



pH de suelo

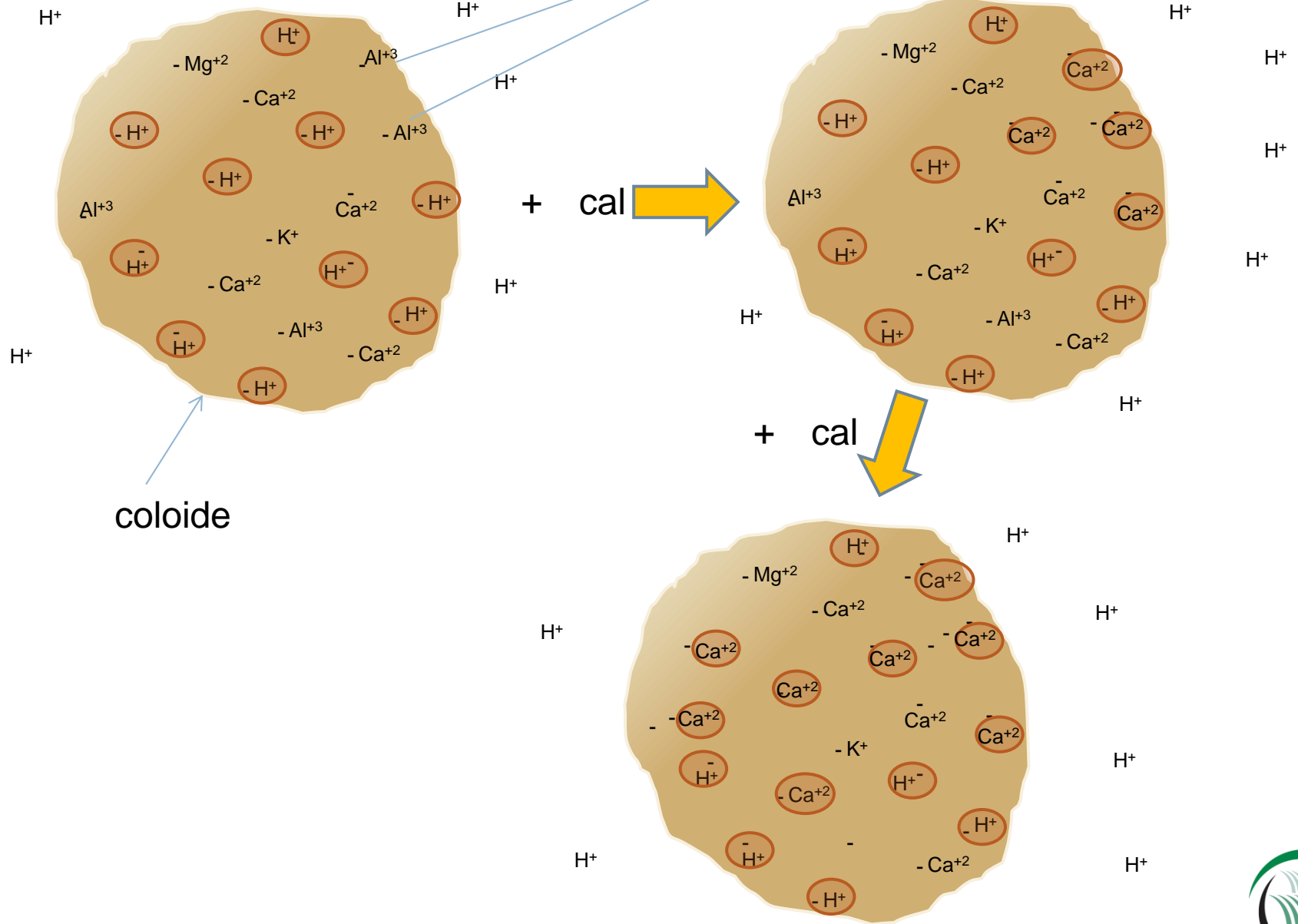
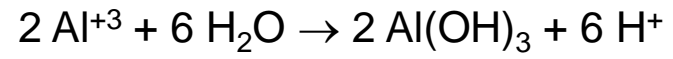
- Mide intensidad de acidez del suelo
- No informa sobre la cantidad de acidez que va a reaccionar con cal

requerimiento de cal

- Cantidad de cal necesaria para elevar el pH de un peso o volumen de suelo contenido en un área conocida a un valor especificado

Cal para llegar a pH 6.5 en dos suelos a pH 4.0

- Suelo de textura gruesa, con poca materia orgánica, baja CIC
- Requerimiento de cal $\sim 1 \text{ t ha}^{-1}$
- Suelo de textura fina, con alta materia orgánica
- Requerimiento de cal $\sim 25 \text{ t ha}^{-1}$



Carga eléctrica de suelos

□ Permanente

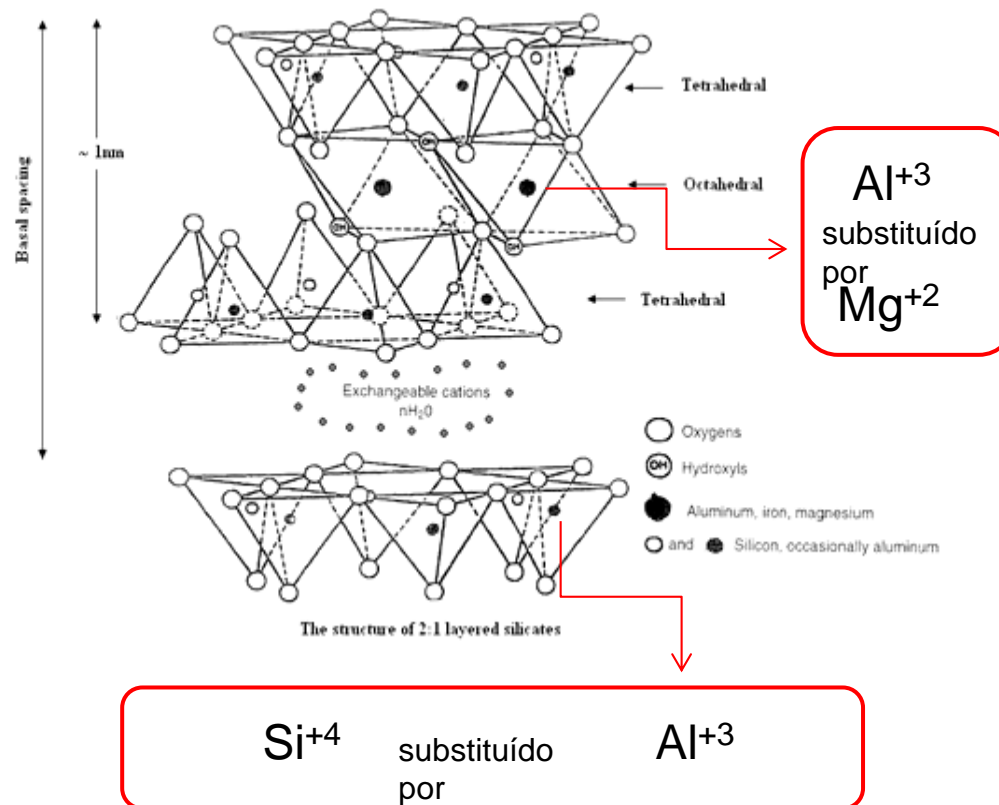
- originada por substituciones isomórficas en arcillas
- deja de contribuir acidez a pH ~ 5.5

□ Variable

- asociada principalmente con materia orgánica

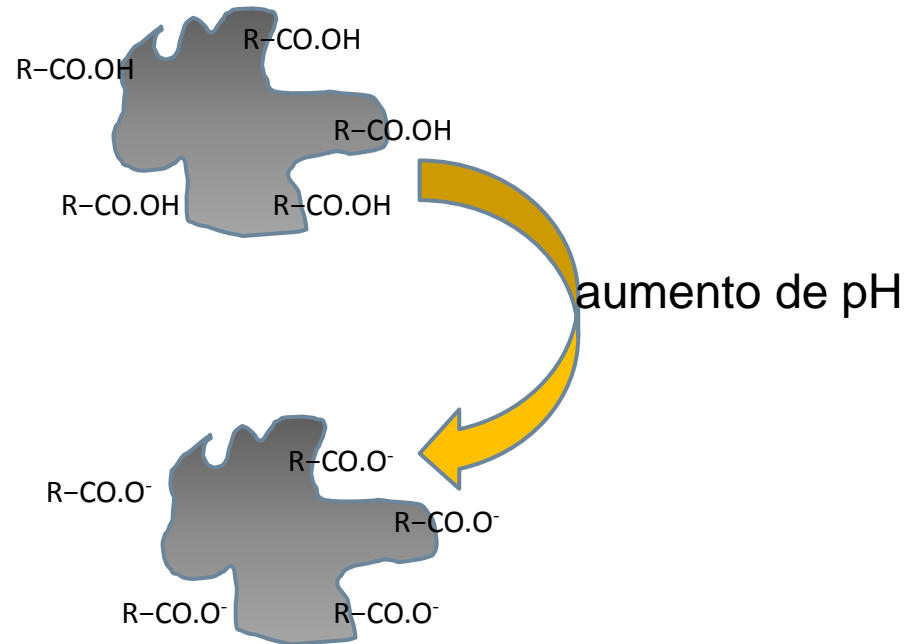
Cargas eléctricas permanentes

□ Estructuras de arcillas



Cargas eléctricas variables

- Dependen del pH
- Materia orgánica



pH

- ¿Qué es pH?
 - ▣ $\text{pH} = \log [1/(\text{H}^+)]$
 - (H^+) = actividad de iones de H
- Producto iónico del agua
 - ▣ agua se disocia: $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^-$
 - ▣ $(\text{H}^+) \times (\text{OH}^-) = 10^{-14}$
 - ▣ $(\text{H}^+) = (\text{OH}^-) = 10^{-7}$ moles/L (0.0000001 moles/L)
 - pH 7.0
- Escala del pH
 - ▣ 0 (muy ácido) a 14 (muy alcalino)

pH del suelo

- Es una determinación relativamente rápida, precisa y barata
 - ▣ Notar la distinción entre
 - **Precisa**: los valores medidos son reproducibles y proporcionalmente relacionados a los valores verdaderos
 - **Exacta**: los valores medidos y verdaderos coinciden
- Los valores son de fácil interpretación y relativamente bien entendidos
- Relacionado en términos amplios con disponibilidad de elementos necesarios o tóxicos para las plantas

Escala del pH

pH del suelo		Acidez/basicidad comparadas con pH 7.0
9.0	básico	100
8.0	básico	10
7.0	neutro	
6.0	ácido	10
5.0	ácido	100
4.0	ácido	1000

Medición de la acidez del suelo

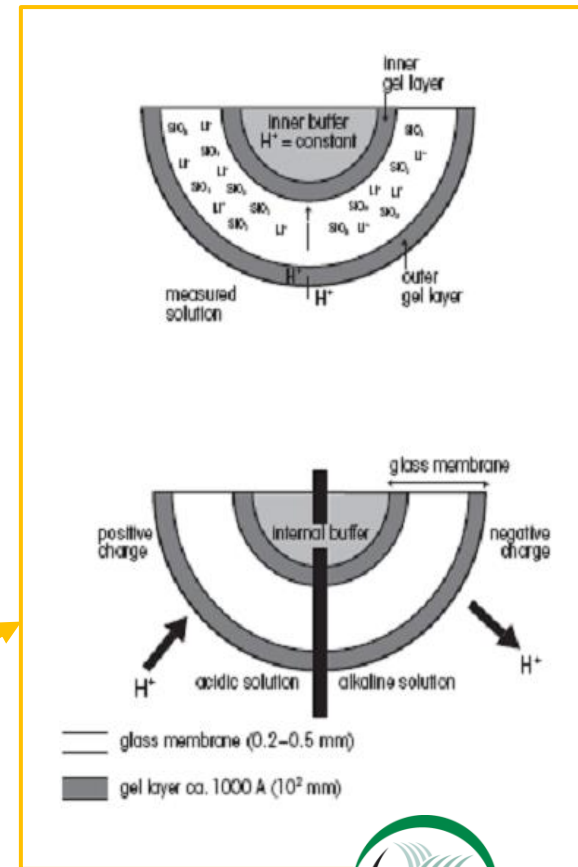
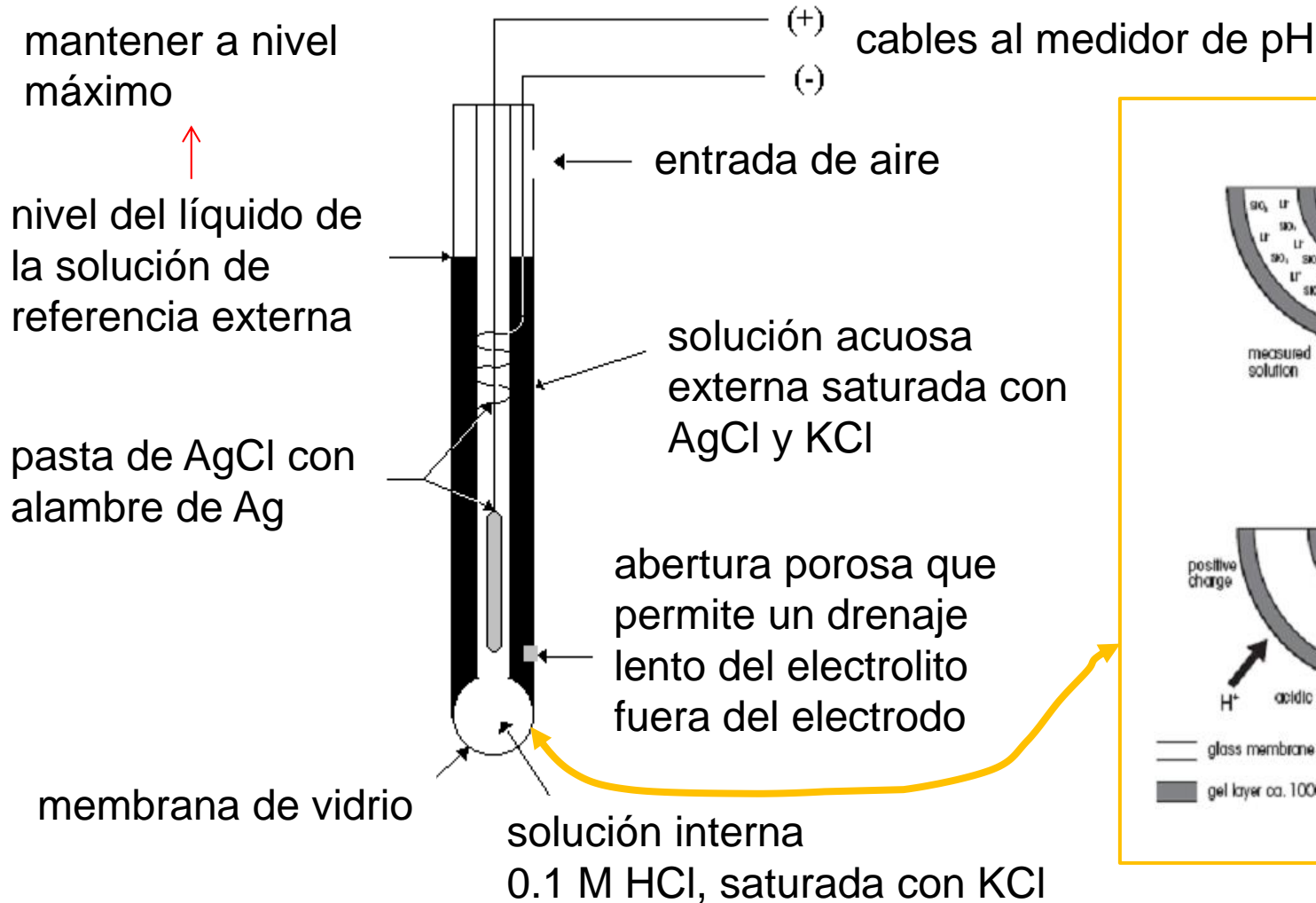
- pH
 - ▣ Con papel indicador
 - Rápido en el campo
 - ▣ Con medidor de pH
 - En agua
 - En sal
 - 1 M KCl
 - 0.01 M CaCl₂



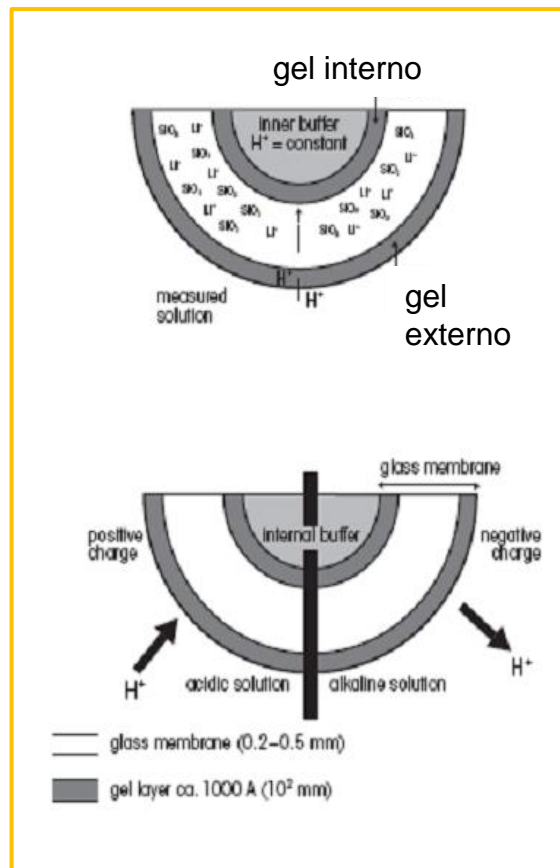
Medidores de pH en laboratorio



Esquema de un electrodo de vidrio



Hidratación del gel

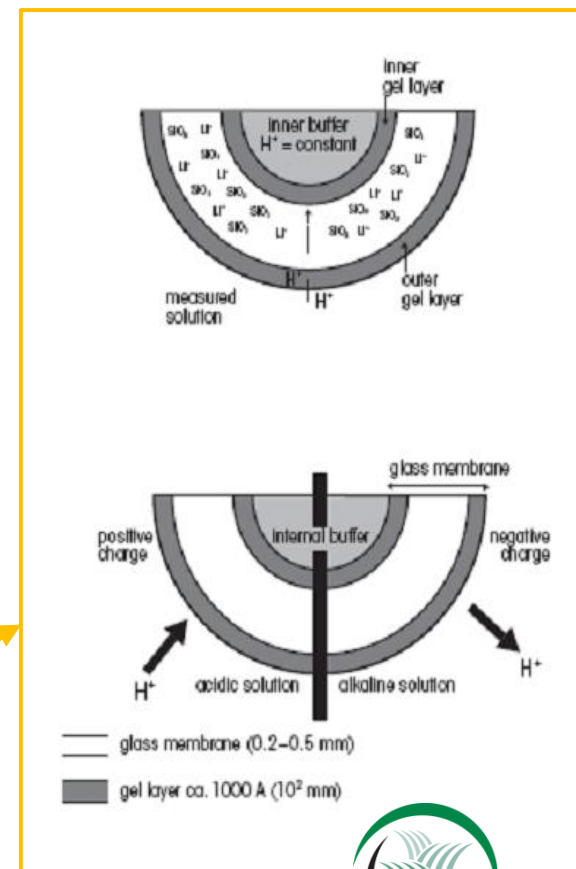
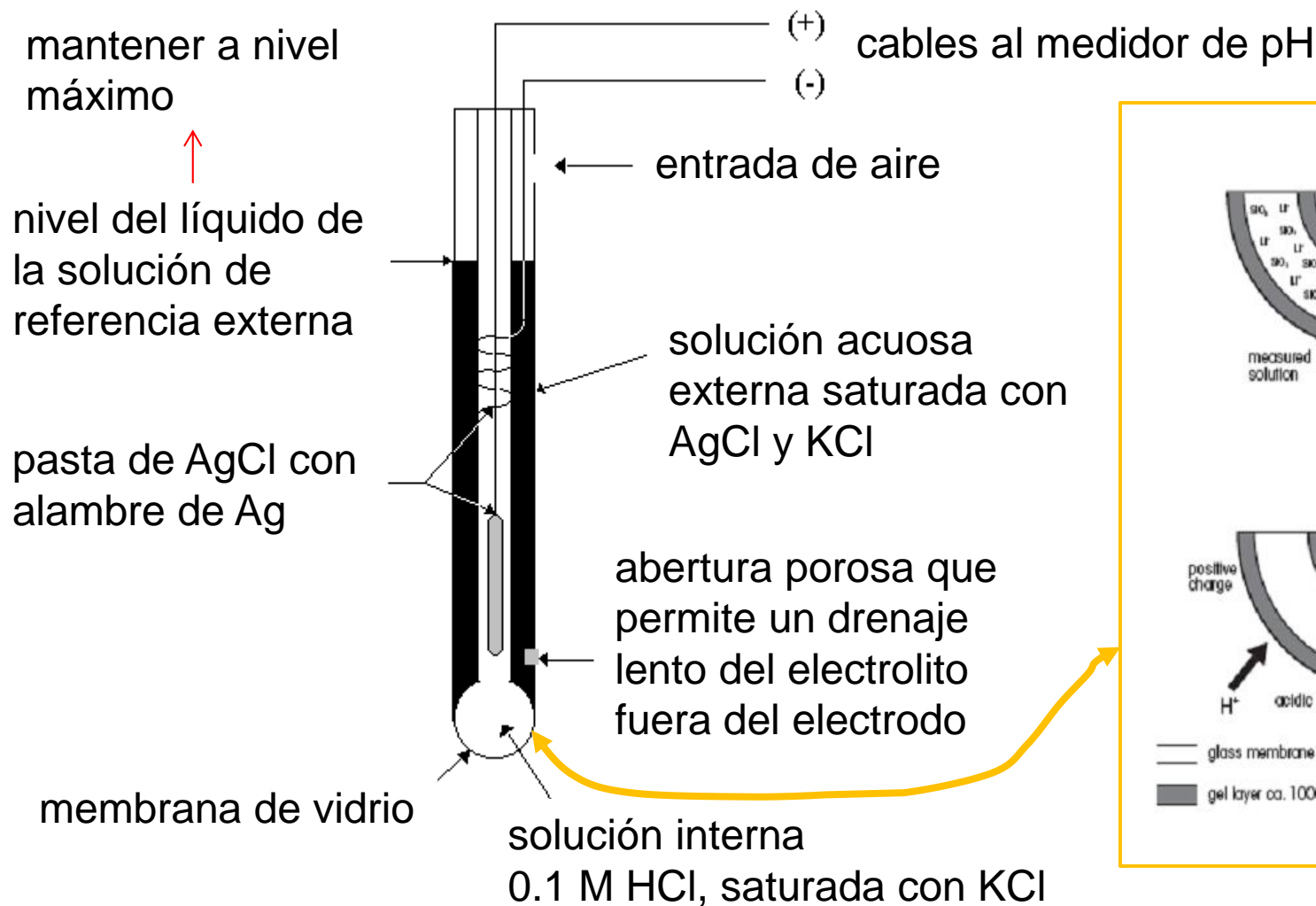


- La capacidad de respuesta del electrodo depende de la hidratación del gel
- Acondicionar electrodos nuevos
- Mantener bulbos húmedos

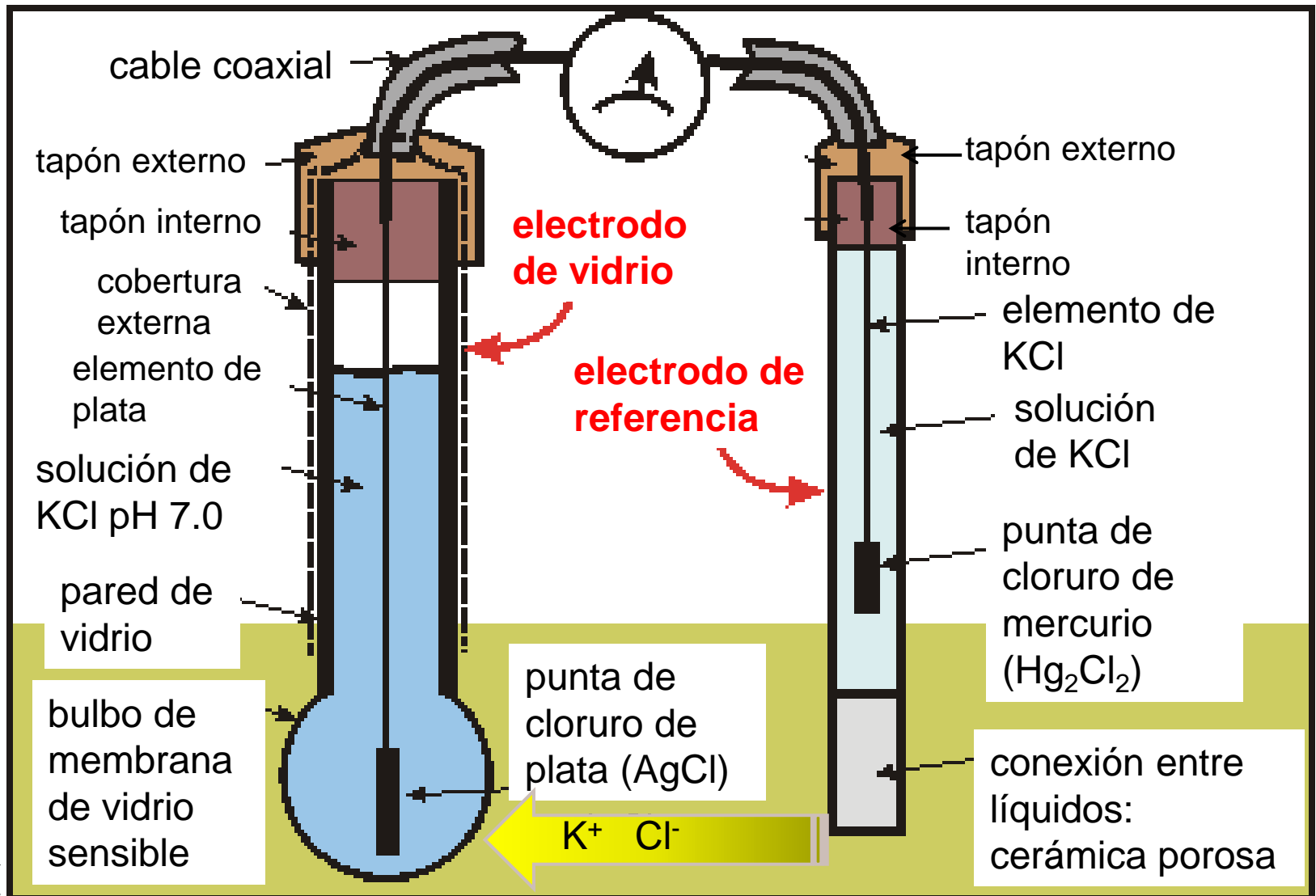
Factores que afectan la medición de pH de suelos con electrodo

- Efecto suspensión y potenciales de conexión entre líquidos
- Sales solubles

Esquema de un electrodo de vidrio



Electrodos para medir pH



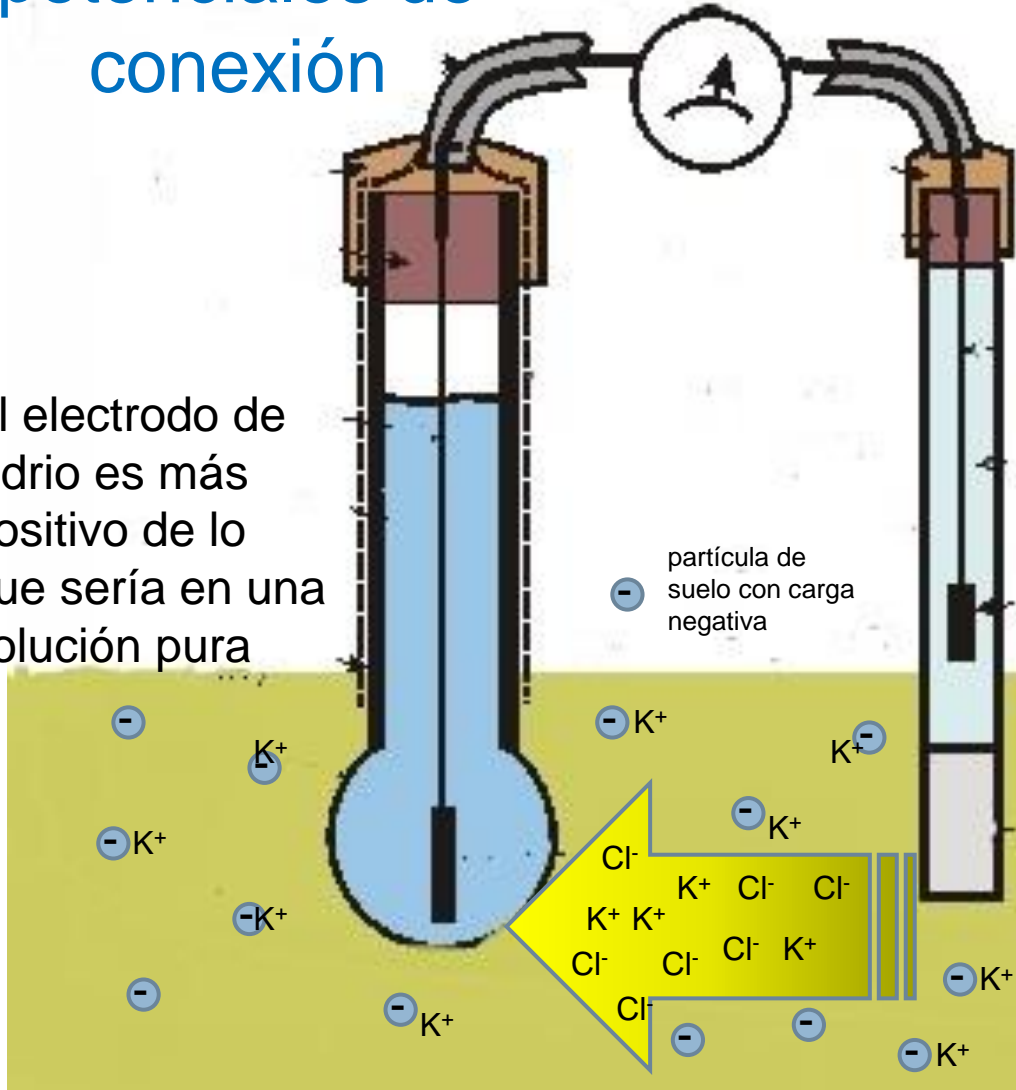
Efecto suspensión y potenciales de conexión

Mide un pH más bajo de lo real

El efecto del potencial de conexión entre líquidos surge de la diferencia en la composición entre las soluciones involucradas:

1. Solución dentro del electrodo de referencia
2. Solución usada para la calibración
3. Solución problema

El electrodo de vidrio es más positivo de lo que sería en una solución pura

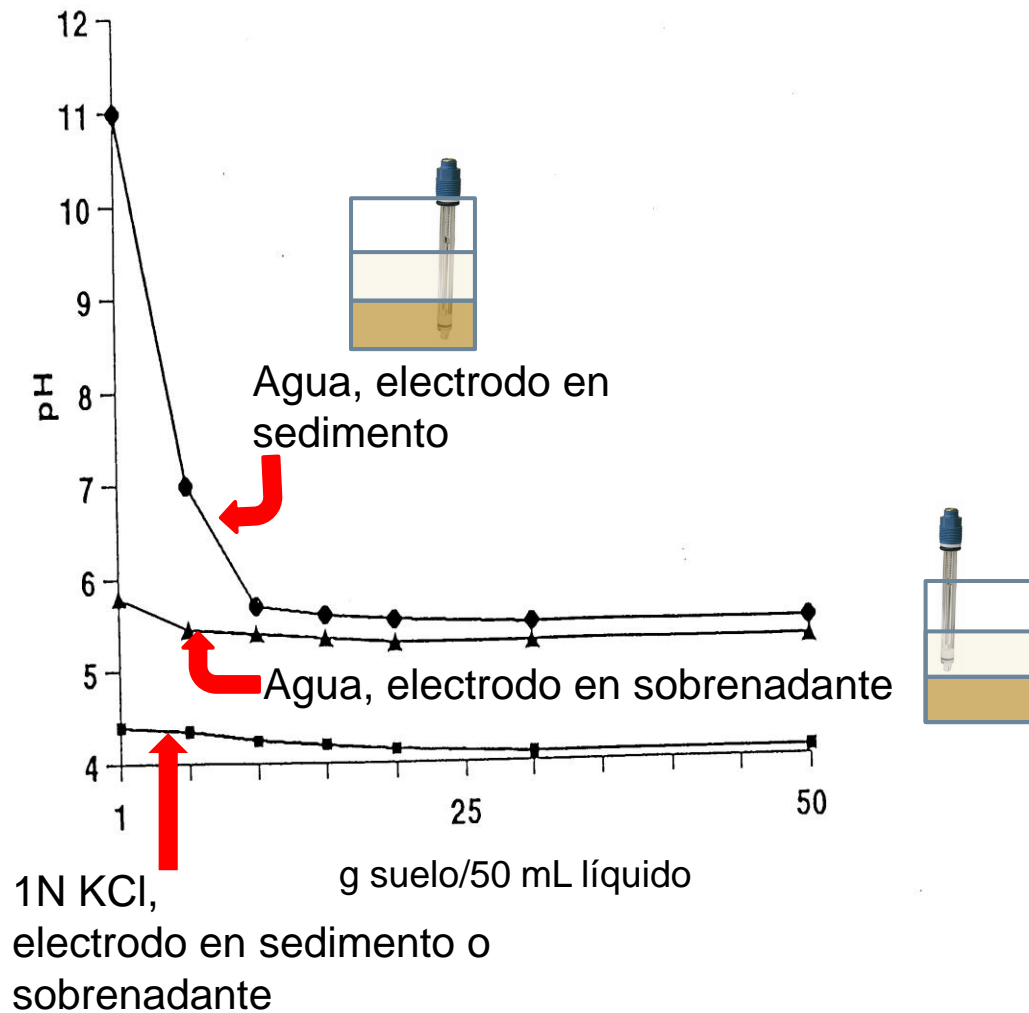


El potencial generado en la conexión entre líquidos cuando se calibra el electrodo no es igual al que se genera con la solución problema.

Las diferencias en movilidades entre los iones involucrados determinan un transporte de carga eléctrica en forma desigual a través de la conexión.

El movimiento de K^+ se retarda en comparación con el de Cl^- debido a la atracción electrostática de los coloides del suelo

Efecto suspensión

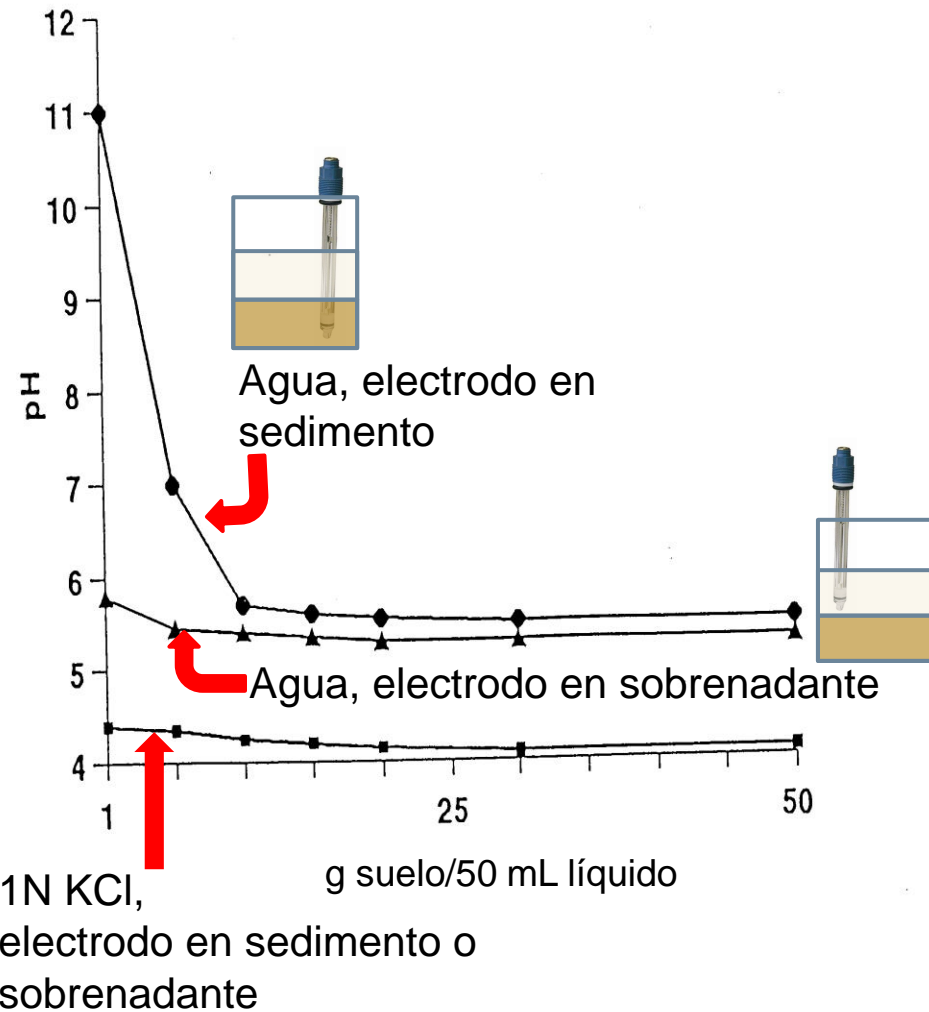


Importancia

- Efecto suspensión es más serio en suelos muy arenosos o muy lixiviados que mantienen una solución de baja concentración de electrolitos

Efecto suspensión se puede reducir...

- Colocando siempre el electrodo en el líquido sobrenadante
- Usando una solución salina (1N KCl o 0.01M CaCl_2) en vez de agua
- Usando relaciones suelo:solución bajas (1:1 o 1:2)



Disminuir problemas con altos potenciales de conexión entre líquidos

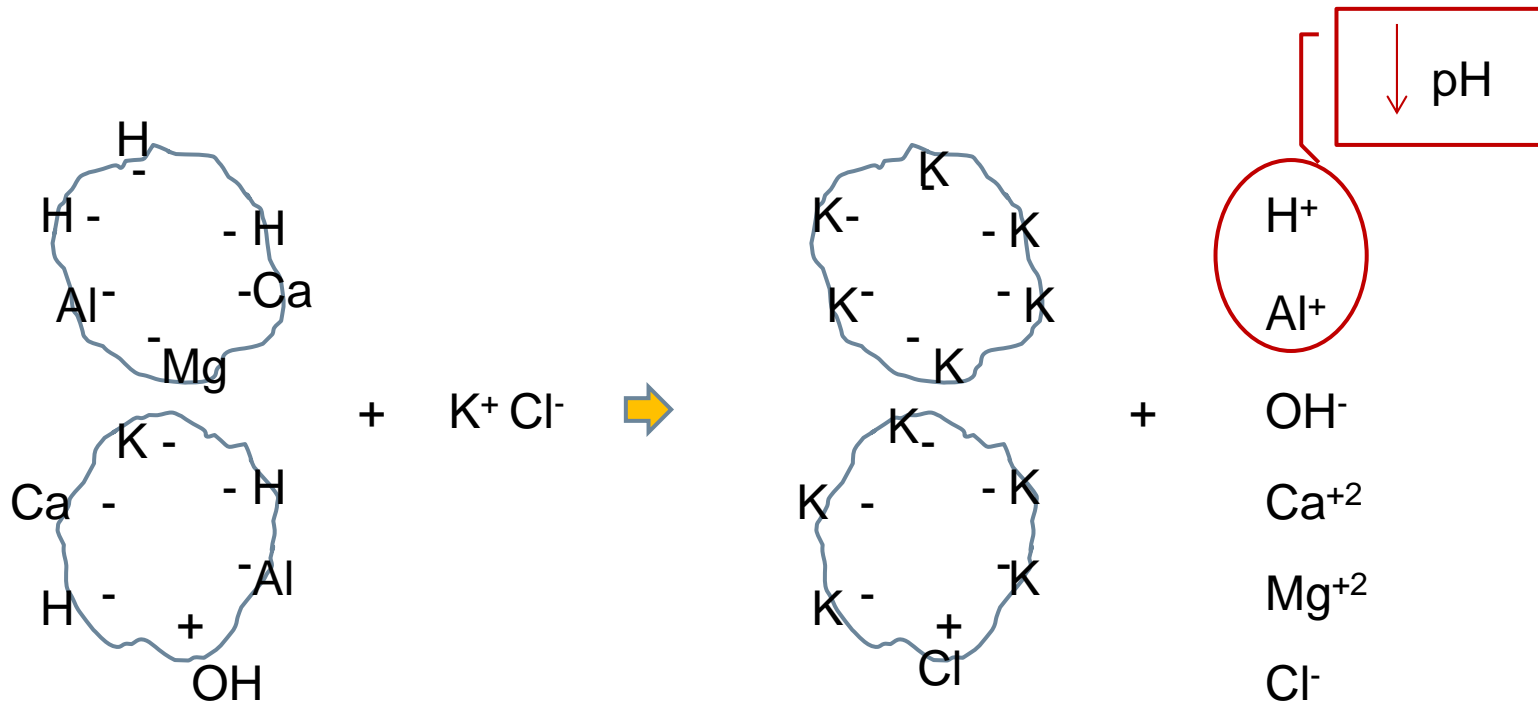
- No revolver la suspensión de suelo mientras se mide el pH



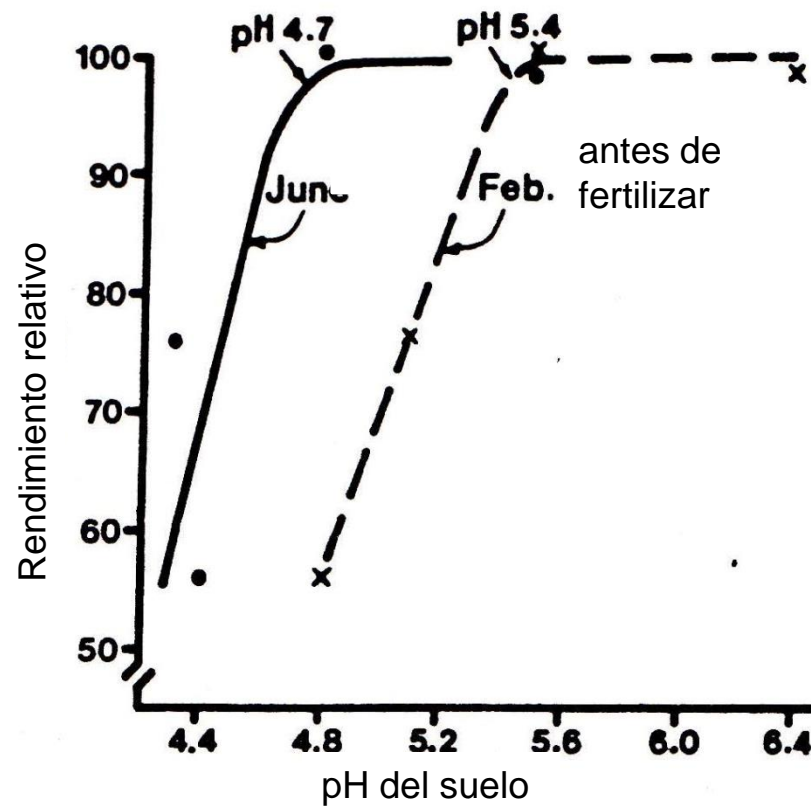
www.gondo.com.tw

Efecto de la concentración de sales

□ Suelo con cargas negativas

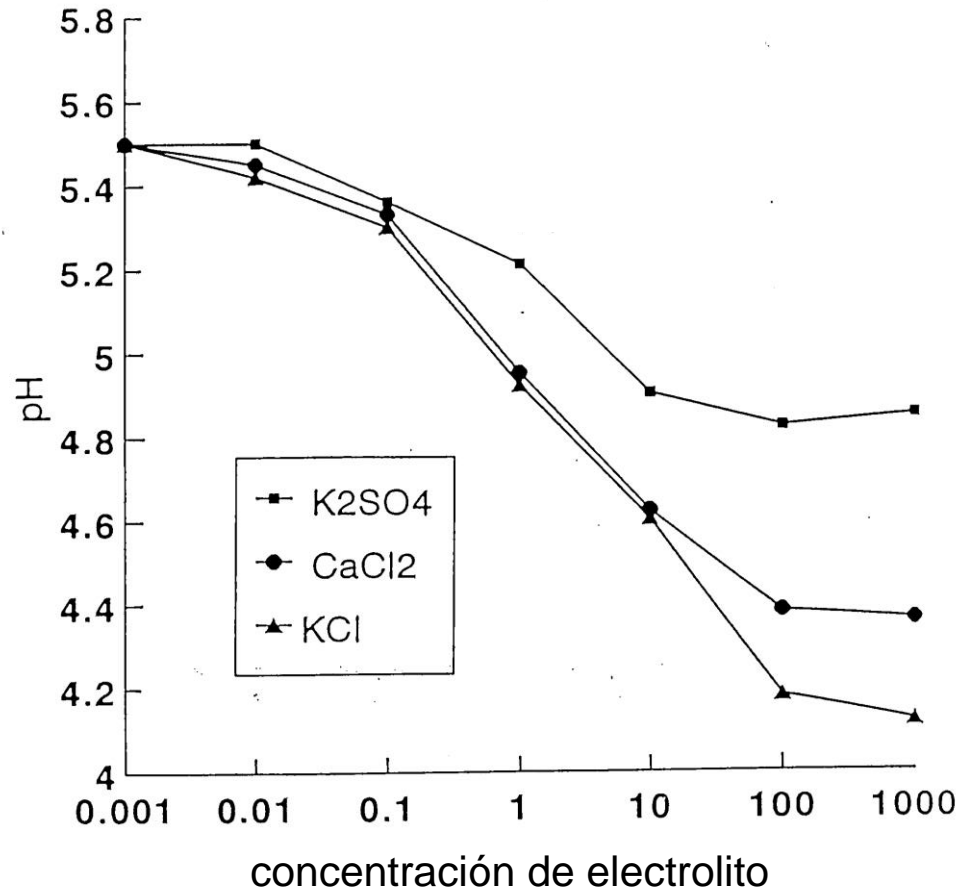


Efecto de la concentración de sales



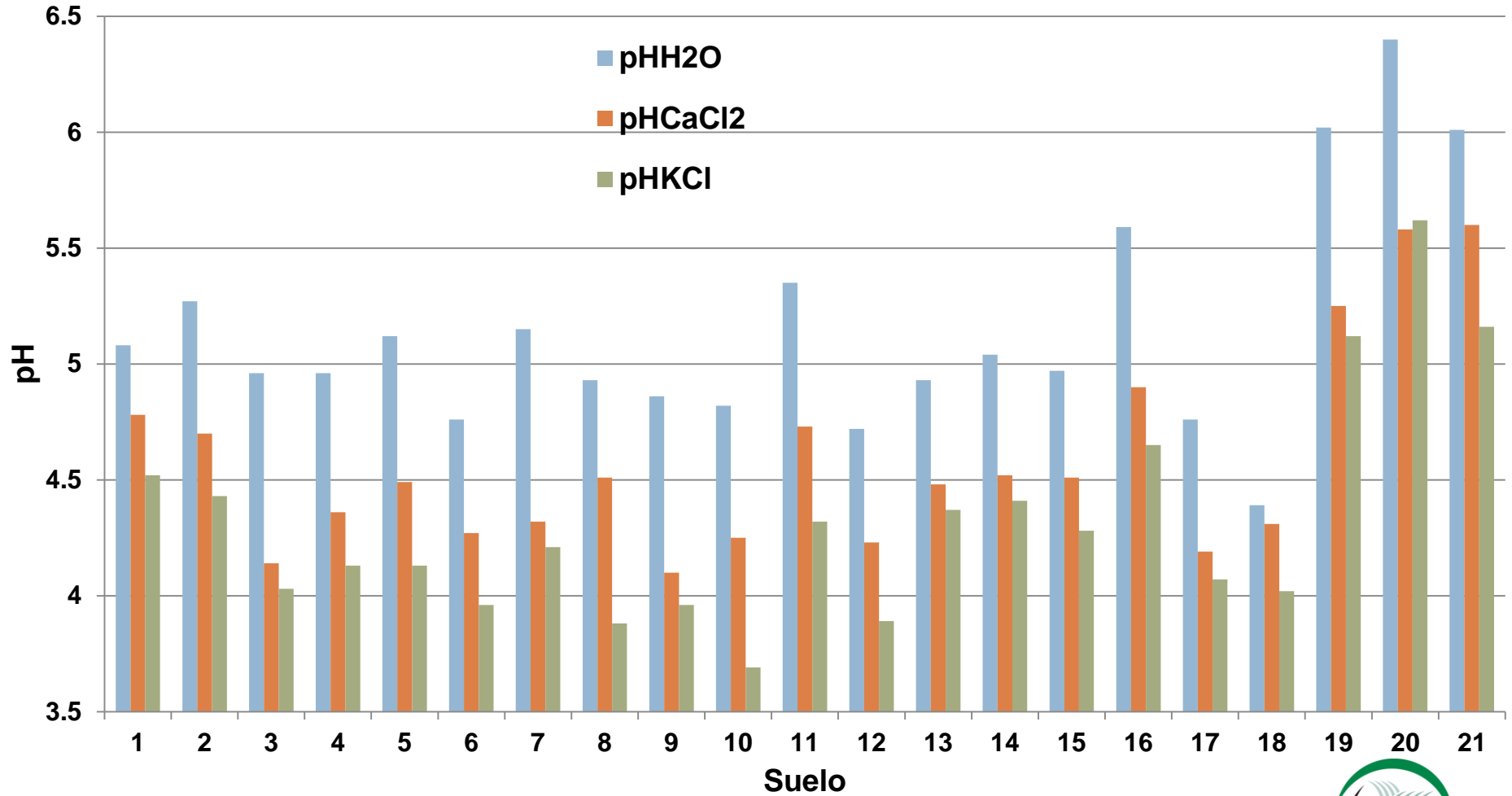
Ultisol

Efecto de la concentración de sales



Mayor concentración de sales en solución → mayor disociación de H⁺ → menor pH

Efecto de la concentración de sales

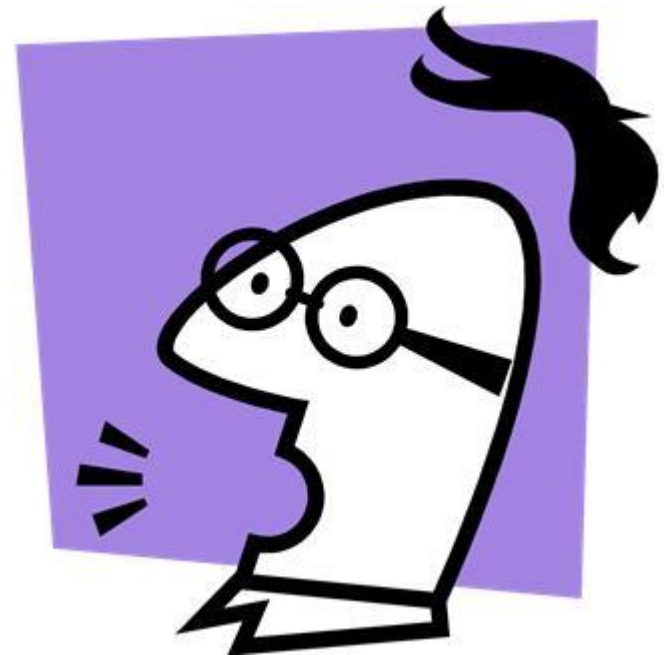


Efecto de la concentración de sales

- El efecto de la variable y desconocida presencia de sales en el suelo se puede evitar midiendo el pH en una solución salina (0.01M CaCl_2 o 1M KCl)
 - La solución 0.01M CaCl_2 fue propuesta por su concentración similar a la solución de suelos fértiles
- pH en 0.01M CaCl_2 menor que en agua
 - ~ 0.5 unidades
- pH en 0.1M KCl menor que en agua y 0.01M CaCl_2

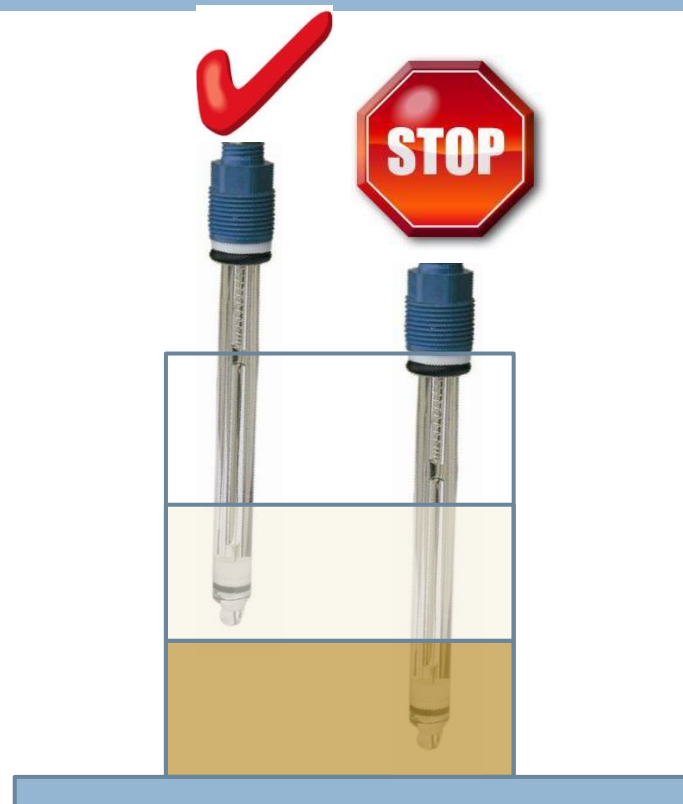
pH medido en suspensión de suelo con electrodo de vidrio

- No tiene significado químico en términos de una medición de la actividad de H^+ en el suelo
- Sirve como ***índice*** de la intensidad de la acidez o alcalinidad del suelo



¿Qué hacer?

- Poner el electrodo en el sobrenadante, no en el sedimento
- Medir pH en soluciones de sales
 - ▣ 0.01M CaCl_2
- Usar relaciones suelo:agua lo más estrechas posibles
 - ▣ 1:1 ó 1:2



Causas de la Acidificación del Suelo

Acidificación del suelo

Acidificación
del suelo



Acidificación del suelo



Lavado por agua



Fertilizantes acidificantes

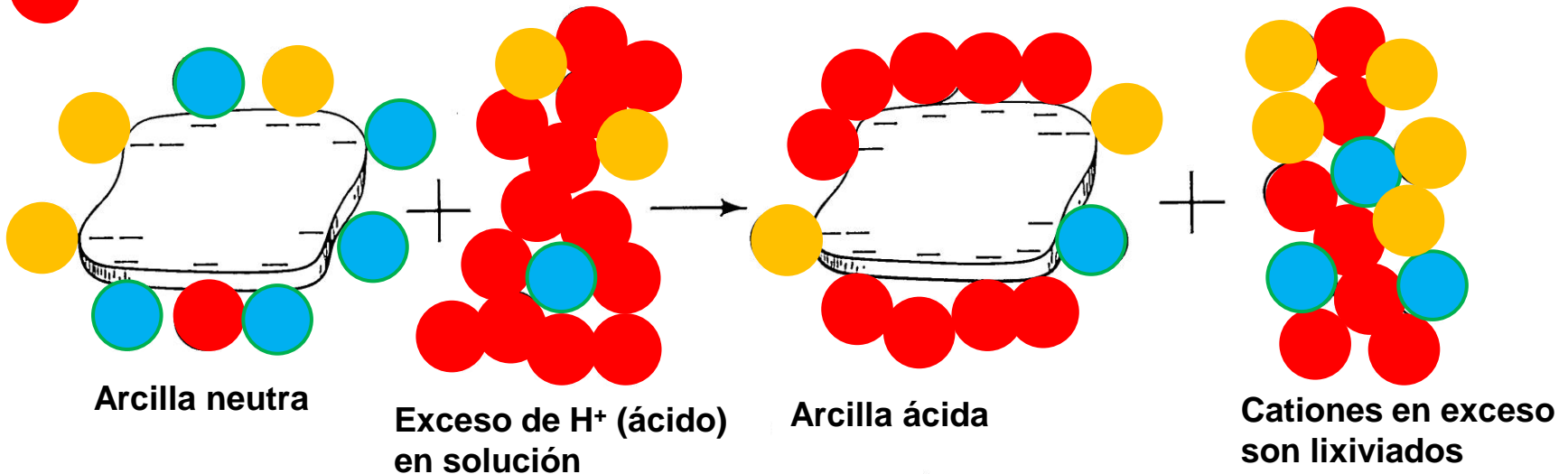
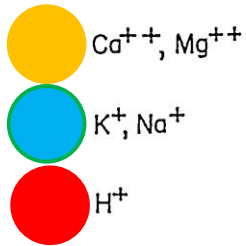
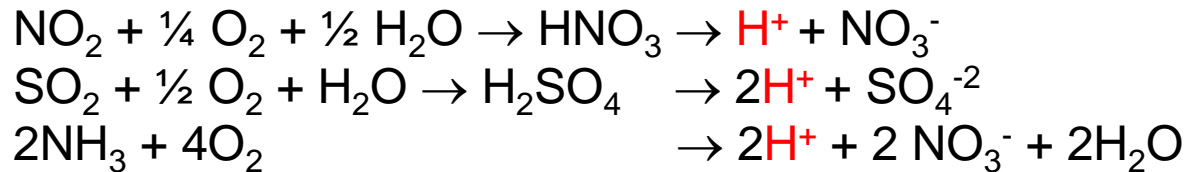
Acidificación
del suelo



¿pH del agua de lluvia?

- Agua destilada en equilibrio con 0.03% CO₂ en la atmósfera tiene pH ~ 5.7
- Lluvia ácida
 - natural
 - originada por contaminantes

Lavado de bases



Remoción de bases en cosechas y residuos

Suelo-(Ca, Mg, K, Na) + Raíz-H⁺

bases intercambiables

acidez en raíces

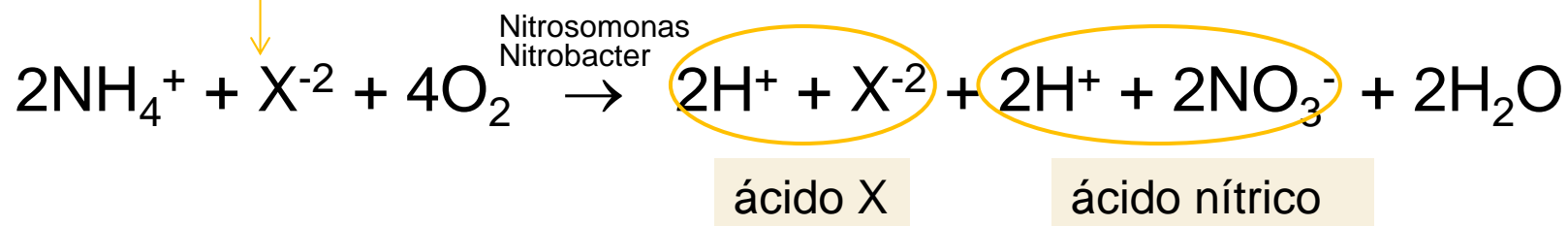


Cultivo-(Ca, Mg, K, Na) + Suelo-H⁺

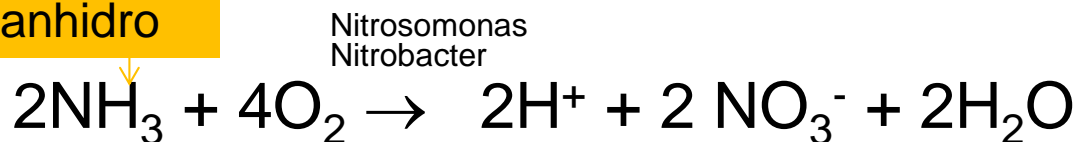
cationes removidos en las partes cosechadas o residuos

acidez en el suelo

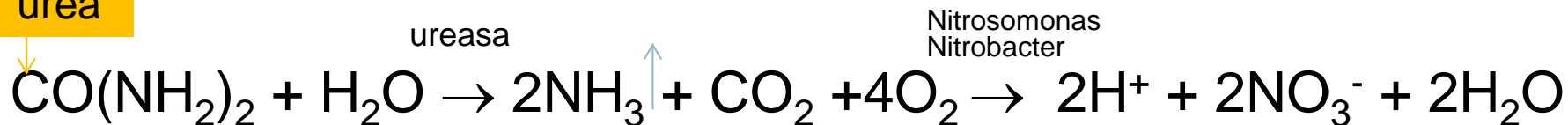
Utilización de fertilizantes acidificantes



Amoníaco anhidro



urea



Fertilizantes nitrogenados

- La acidificación depende de
 - ▣ Fuente de N

Tabla 1. Cantidades de CaCO_3 puro requeridas para neutralizar la acidez producida por N amoniacales como consecuencia de una nitrificación

Si aplicamos 200 kg N/ha/año usando urea necesitaríamos **MÁXIMO** 714 kg/ha/año de CaCO_3 puro para neutralizar la acidez creada... si usáramos sulfato de amonio, necesitaríamos 1,428 kg/ha/año

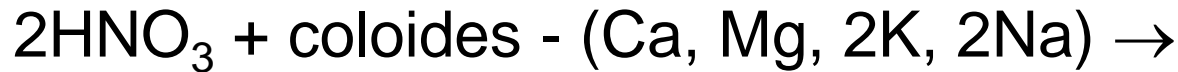
Fertilizante	Acidez producida (mol H^+ /mol N)	CaCO ₃ puro requerido para una neutralización completa	
		kg/kg N amoniacal	kg/kg fertilizante
Amoníaco anhidro (NH_3)	1	3.57	2.92
Urea (NH_2) ₂ CO	1	3.57	1.64
Nitrato de amonio (NH_4NO_3)	1	3.57	0.57
Sulfato de amonio (NH_4) ₂ SO ₄	2	7.14	1.5
Fosfato monoamónico (NH_4)H ₂ PO ₄	2	7.14	0.78
Fosfato diamónico (NH_4) ₂ HPO ₄	2	7.14	1.29

¿Qué pasa con el nitrato (NO_3^-)?

- $\text{H}^+ + \text{NO}_3^-$
 - ▣ NO_3^- tomado por las raíces
 - $\text{Raíces-OH} + \text{NO}_3^- \rightarrow \text{Raíces-NO}_3 + \text{OH}^-$

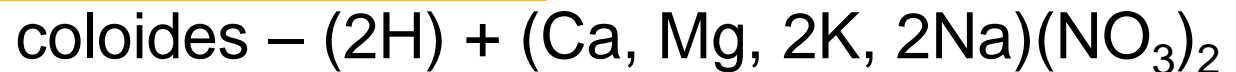
¿Qué pasa con el nitrato (NO_3^-)?

- NO_3^- no tomado por las raíces en capa arable



ác. nítrico

cationes básicos intercambiables



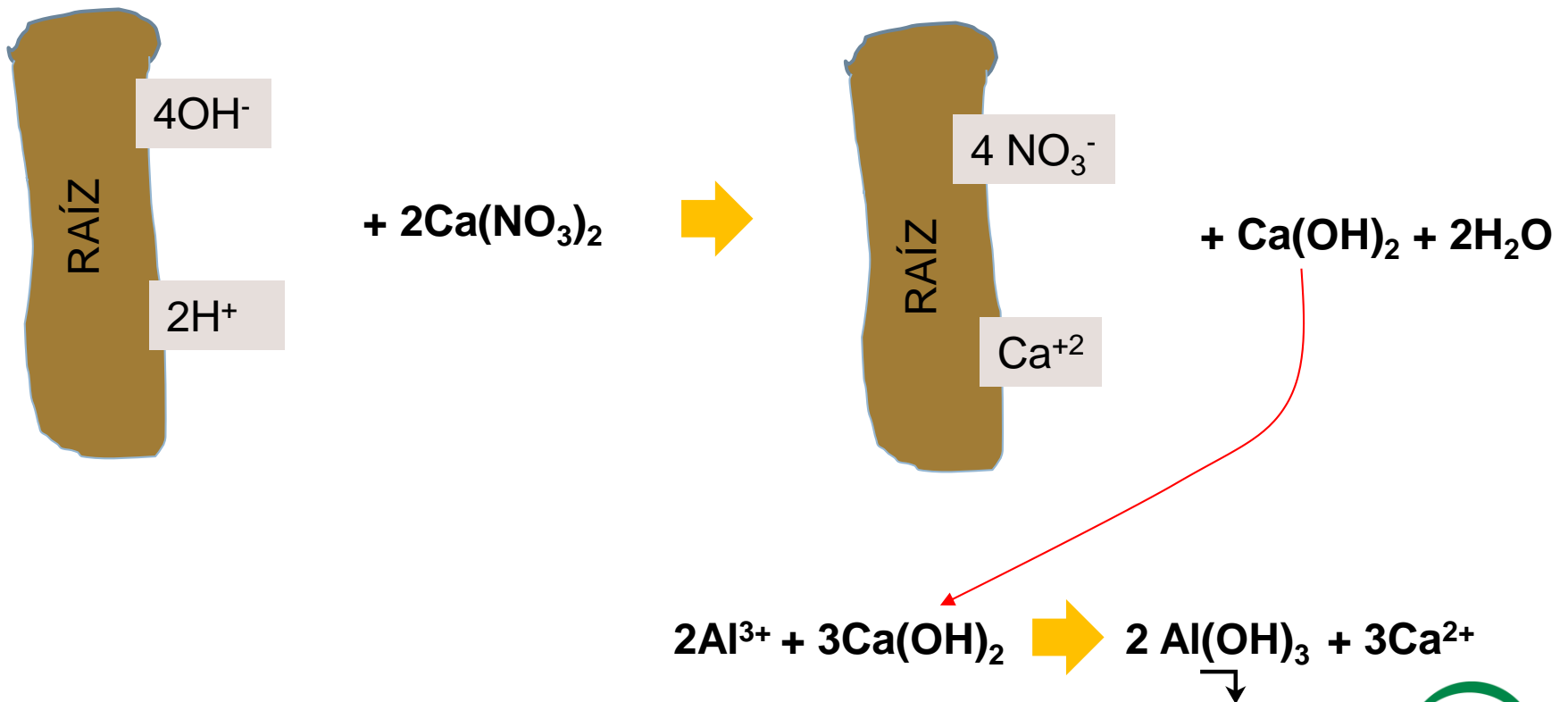
suelo ácido

sales solubles lavadas

**Reacción más importante en
la acidificación de suelos**

¿Qué pasa con el nitrato (NO_3^-)?

- NO_3^- tomado por las raíces en subsuelo



¿Qué pasa con otras formas de N?

- NH_4^+ tomado por las raíces
 - ▣ $\text{Raíces-H} + \text{NH}_4^+ \rightarrow \text{Raíces-NH}_4 + \text{H}^+$
- N_2 tomado por las raíces (leguminosas)
 - ▣ $\text{Raíces-H} + \text{bases}^{+n} \rightarrow \text{Raíces-bases} + \text{H}^+$

Conclusiones

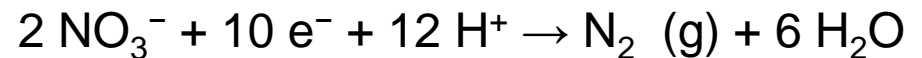
- Ajustar la aplicación de N a las necesidades del cultivo
- Promover crecimiento de raíces para tomar el NO_3^-
- Mantener el pH en capa arable entre 5.5 y 5.8, para retardar la nitrificación, sin afectar al cultivo
- No remover los residuos, sino dejarlos en el suelo

Desnitrificación

□ Reacciones en reversa a la nitrificación

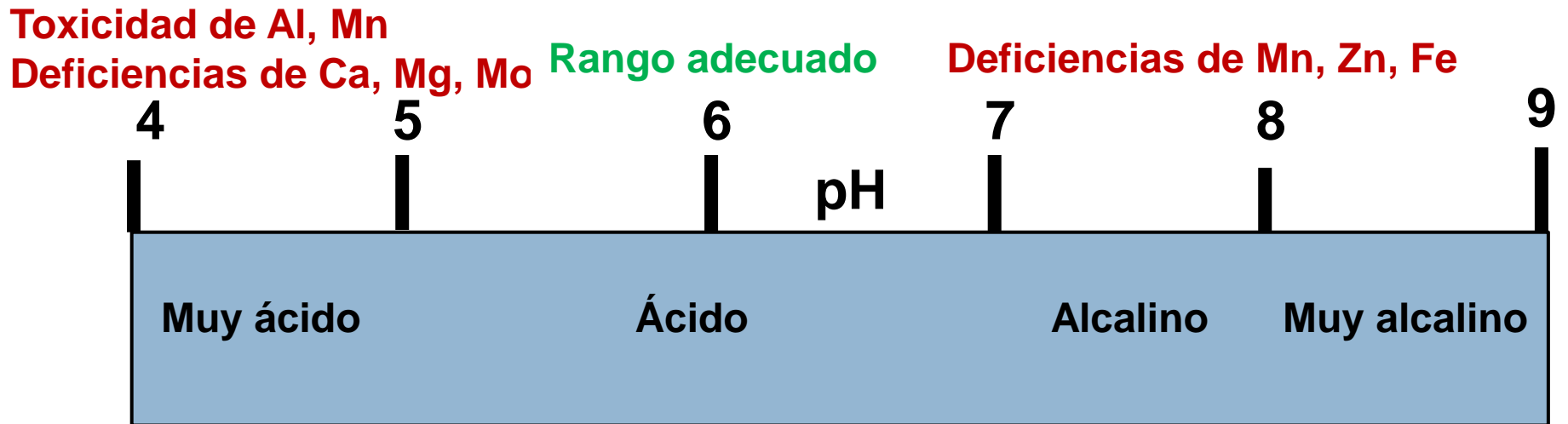


□ Se consume H^+ (disminuye acidez)



Consecuencias de la Acidificación del Suelo

Disponibilidad de nutrientes



Severo desequilibrio químico

Toxicidad

Al

Mn

Deficiencias

P

K

Ca

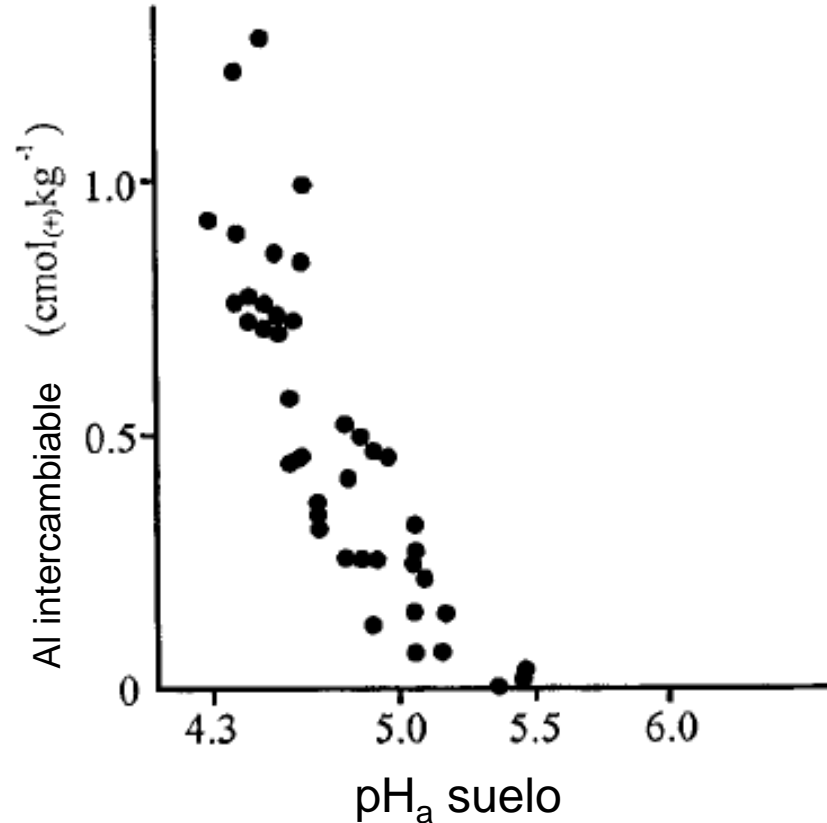
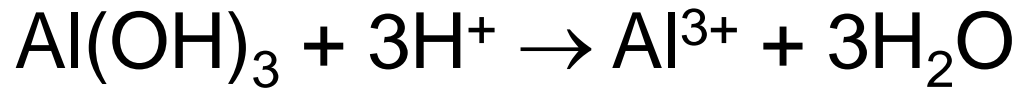
Mg

Mo

Requisitos para un buen crecimiento de raíces

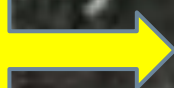
- Ausencia de Al^{3+} soluble
- Niveles altos de Ca^{2+} soluble

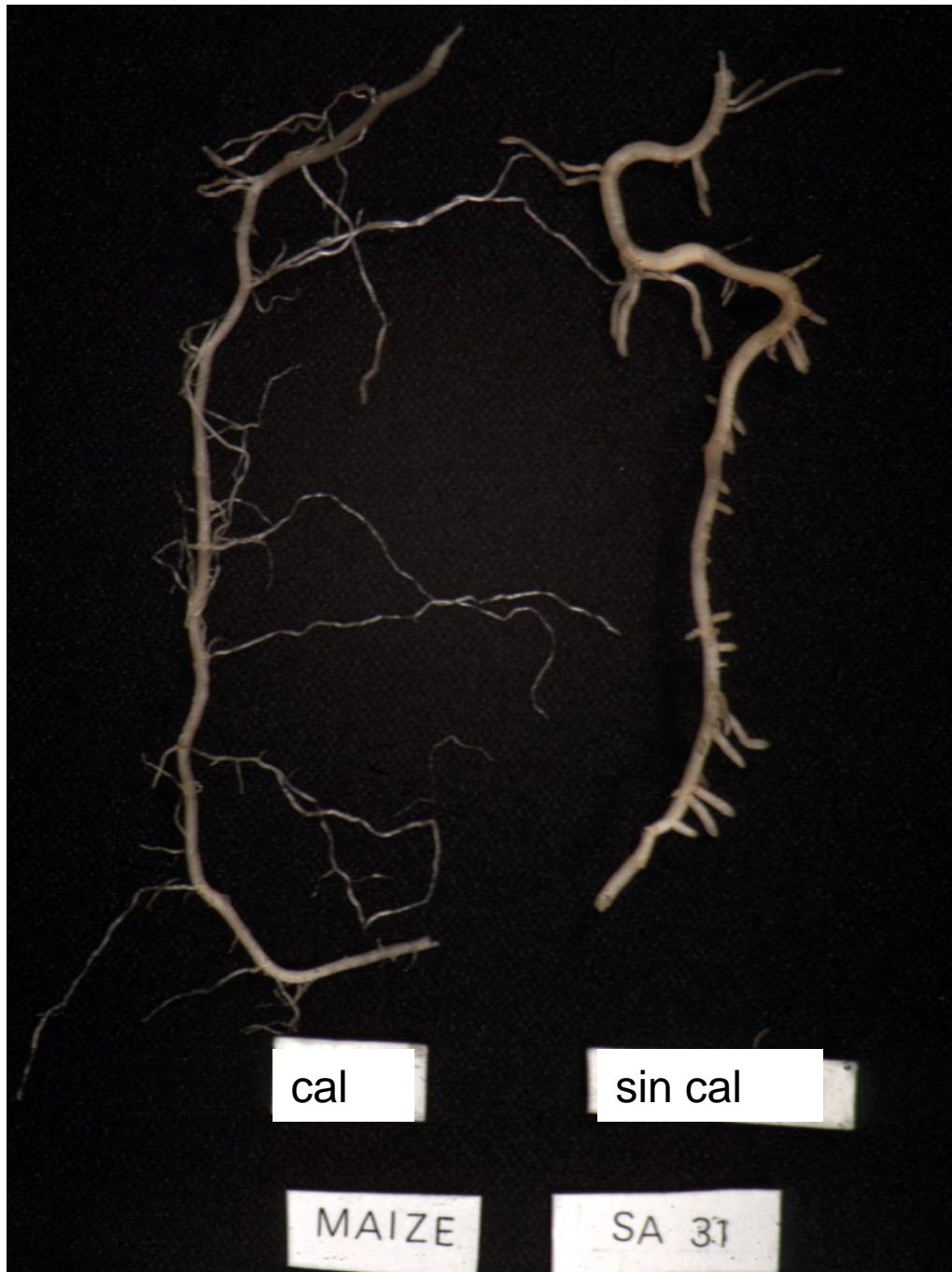
Aluminio intercambiable





**Raíces
podadas**







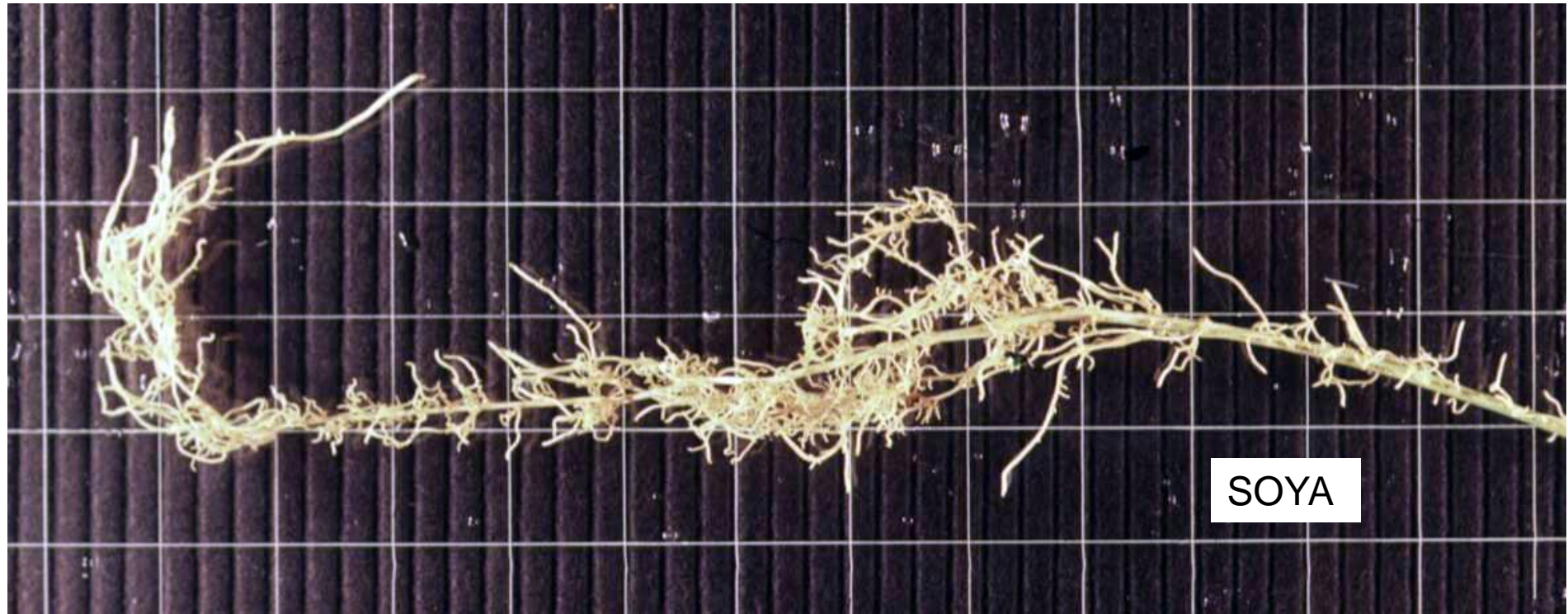
sin cal

cal

TRIGO



SOYA





CAFÉ

Toxicidad de Manganeso

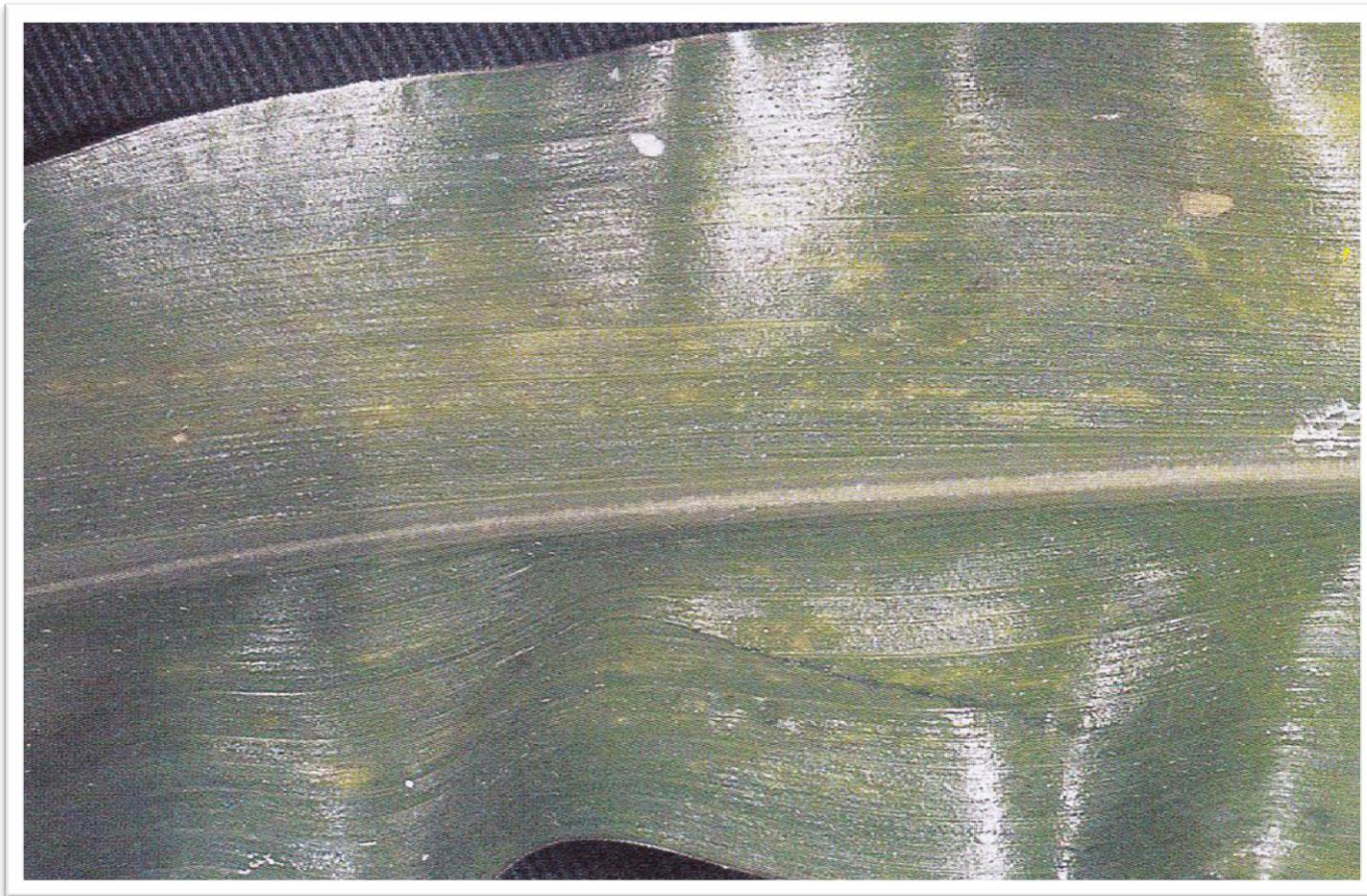


dióxido de
manganeso

manganeso
soluble

- Condiciones reductoras (falta de O_2)
promueven toxicidad de Mn
 - ▣ exceso de agua
- Síntomas aparecen primero y son más severos en hojas viejas

Toxicidad de Mn en maíz



Síntomas pueden extenderse a hojas jóvenes

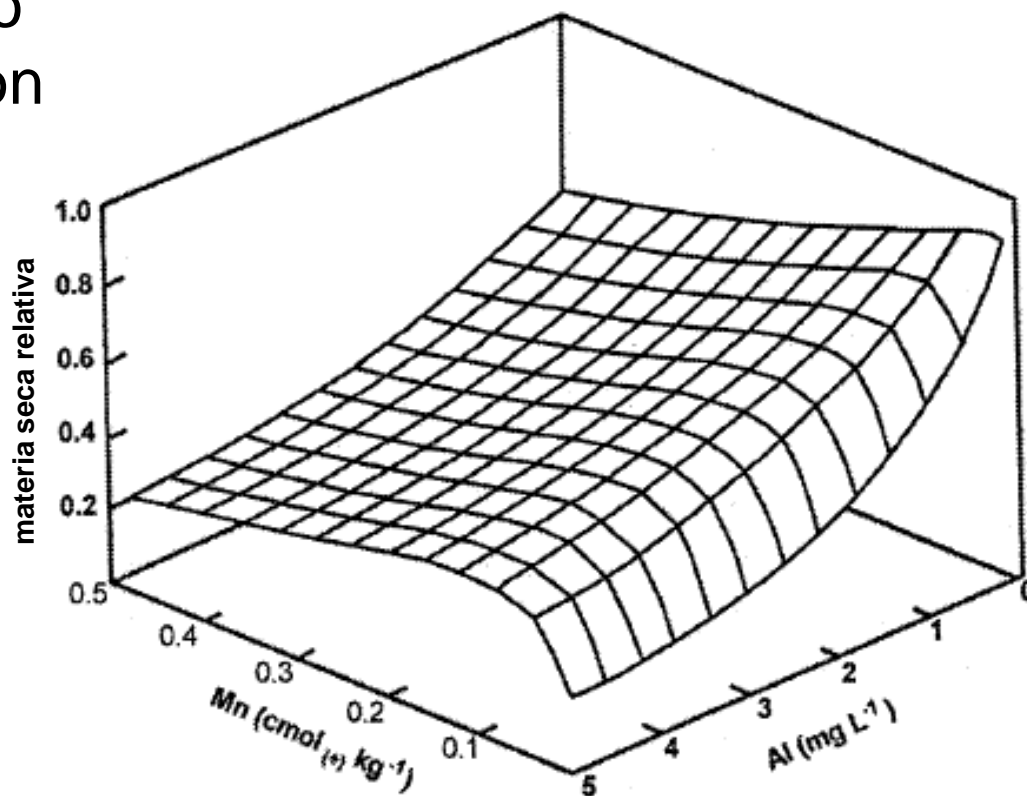




Con toxicidad persistente los márgenes y puntas de las hojas viejas toman colores gris-oscuro y café.

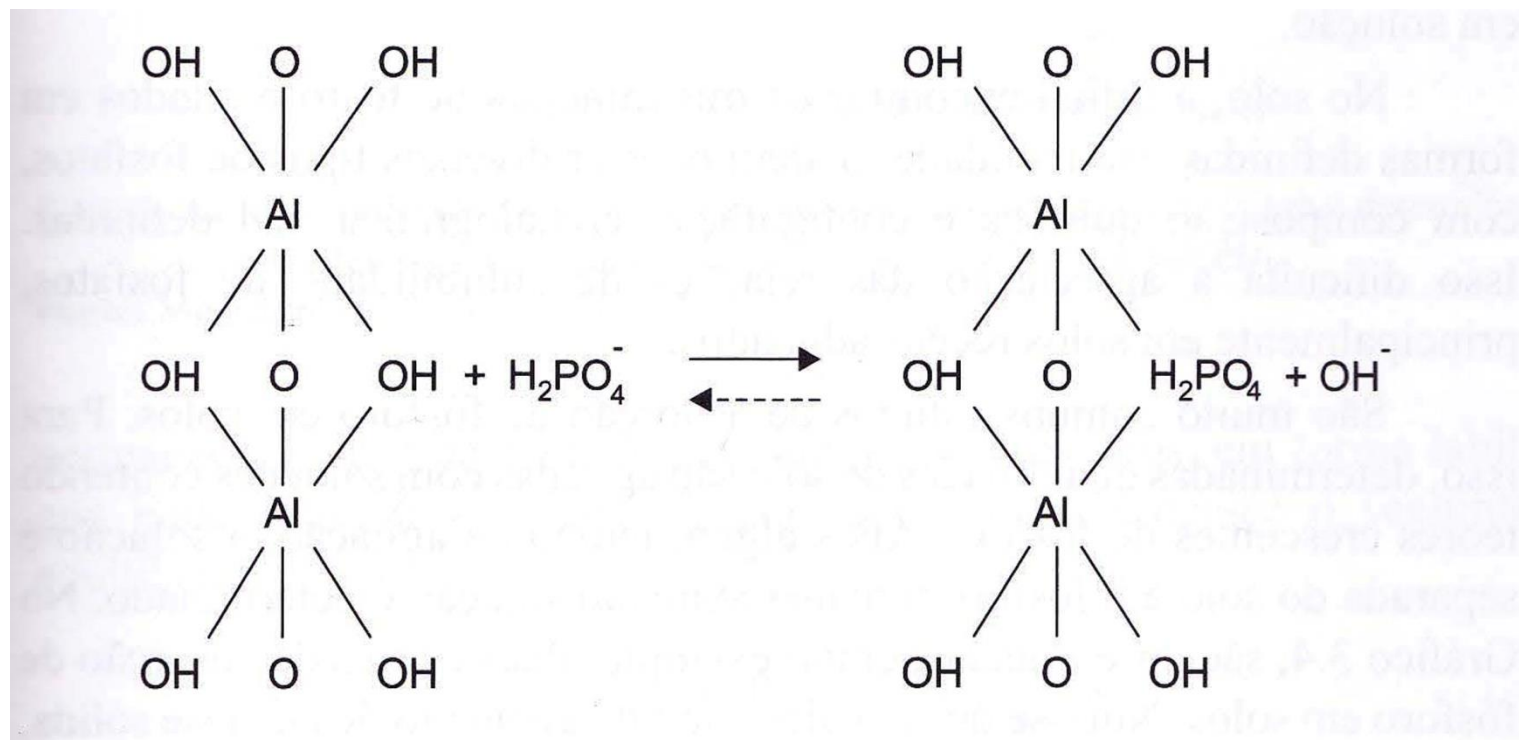
La nervadura central y el tejido que la rodea cambia a un color plateado.

- Rendimiento de materia seca relativo de cebada en función del Al y Mn intercambiables (0.01M CaCl₂) para 19 suelos ácidos australianos



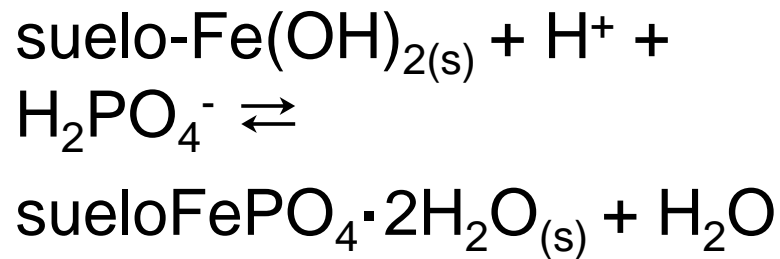
P

- Bajo contenido natural
- Baja disponibilidad

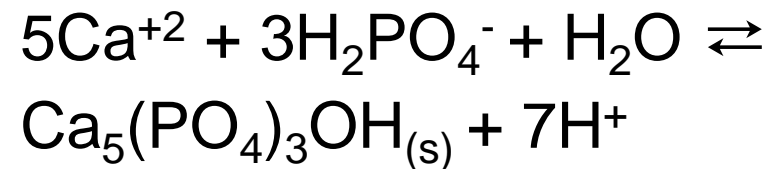


Esquema 3.4. Representação da adsorção de fosfato em superfície de óxido hidratado de alumínio. (Von Raij, 2011)

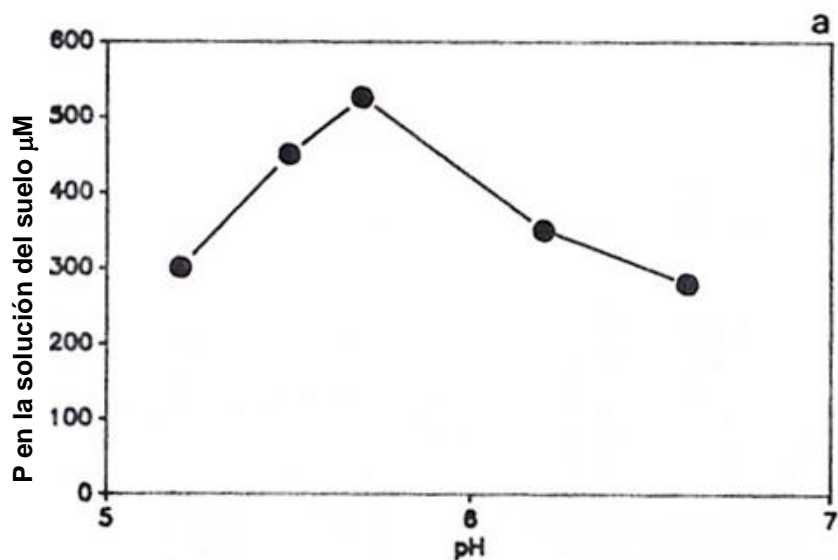
pH bajo



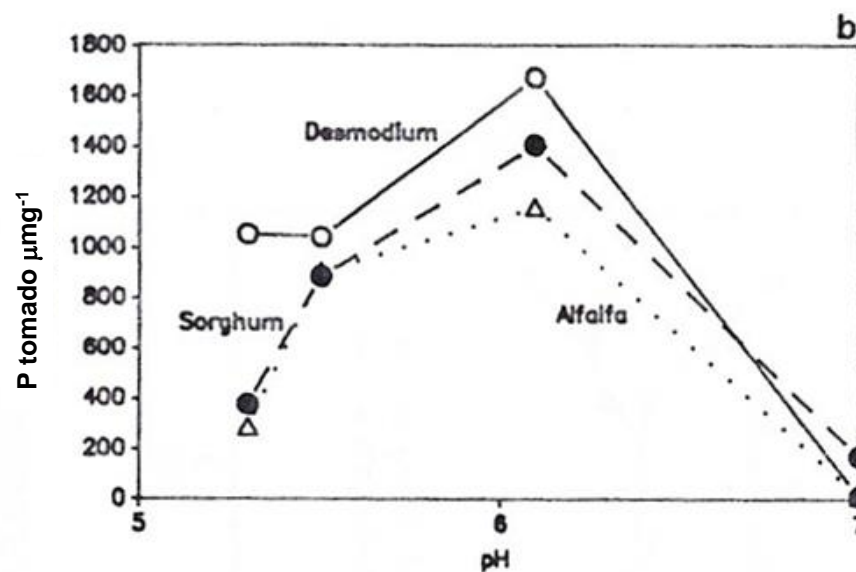
pH alto



P



Efecto del pH en la concentración de P en solución



Efecto del pH en la toma de P por alfalfa, *Desmodium*, y sorgo

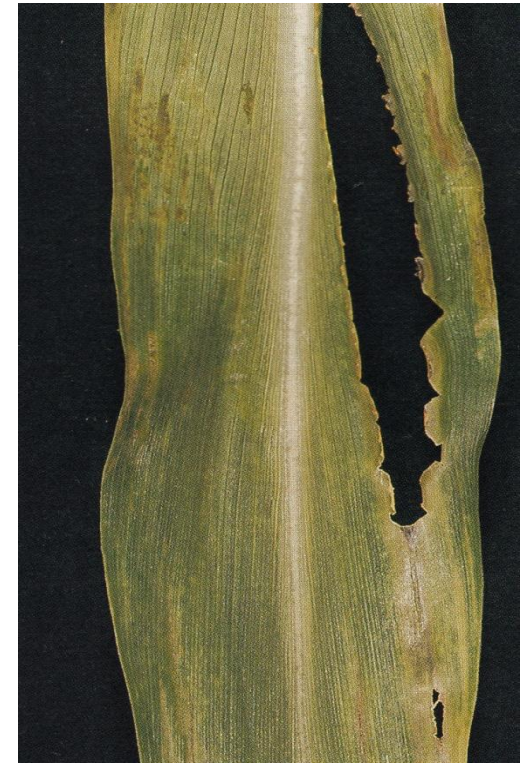
Deficiencia de K en maíz

□ Hojas viejas



Deficiencia de Ca en maíz

- Hojas nuevas
- Hojas pálidas a verde oscuro con lesiones amarillas y cafés; hoja rota o con agujeros; a veces se presenta necrosis en la punta de la hoja



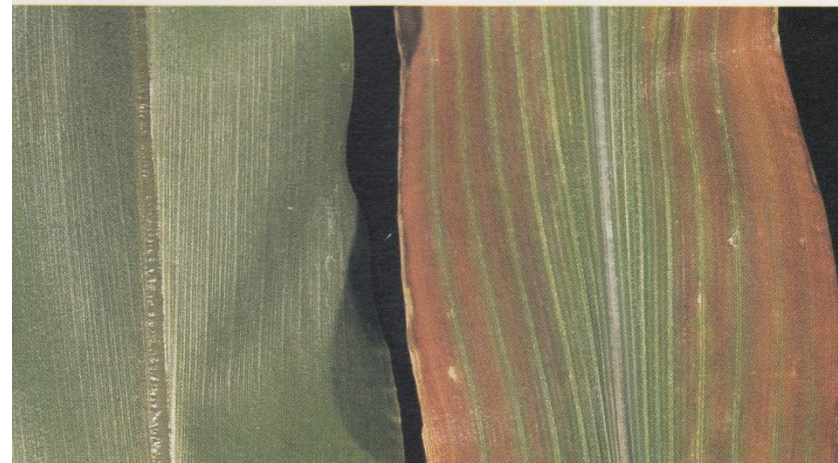
Ca intercambiable en suelo

Textura	Contenido de calcio en el suelo (ppm)						
	Muy bajo	Bajo	Moderadamente bajo	Medio	Moderadamente alto	Alto	Muy alto
Fina	<500	500-750	750-1000	1500-3000	3000-5000	5000-6000	>6000
Media	<400	400-600	600-1000	1000-2000	2000-3500	3500-5000	>5000
Gruesa	<300	300-500	400-800	800-1200	1200-1750	1750-2500	>2500

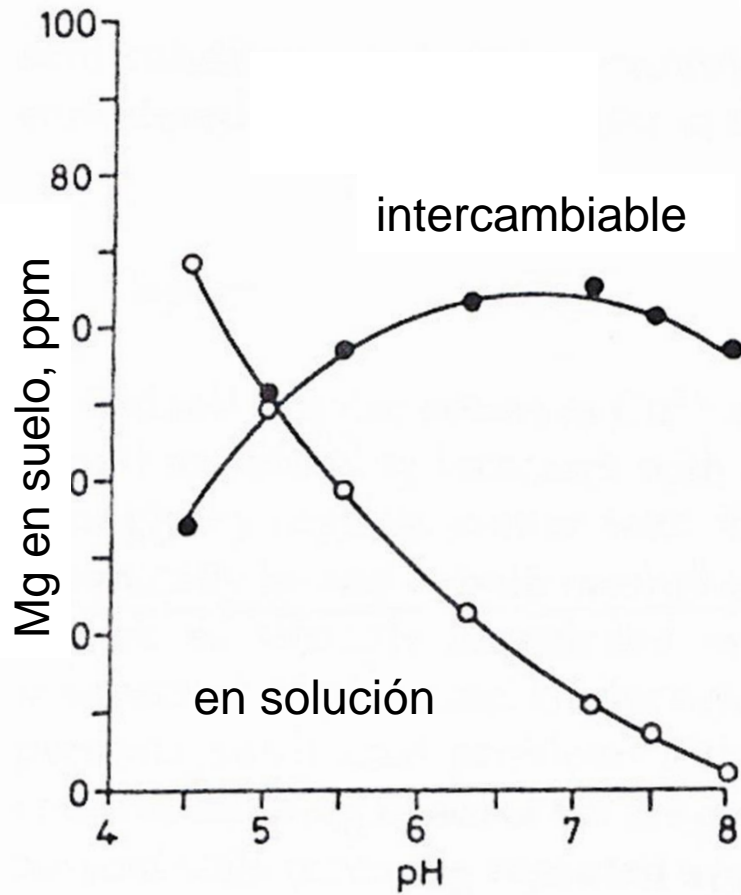
Extracción con acetato de amonio 1N pH7

Deficiencia de Mg en maíz

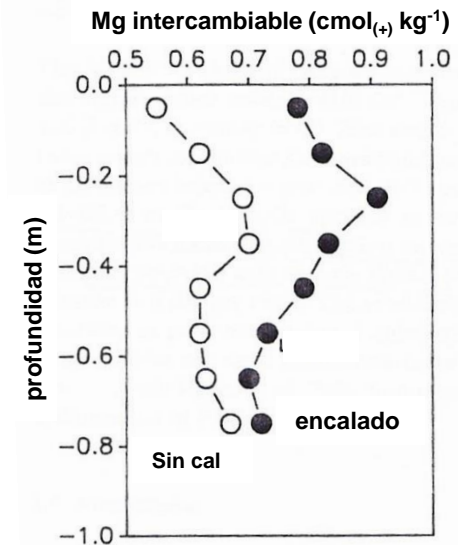
- Hojas viejas
- Clorosis entre nervaduras, seguida por franjas cafés óxido y necrosis café pálida



Mg intercambiable



- Mg^{+2} no compite bien con Al^{+3} y Ca^{+2} por sitios de intercambio

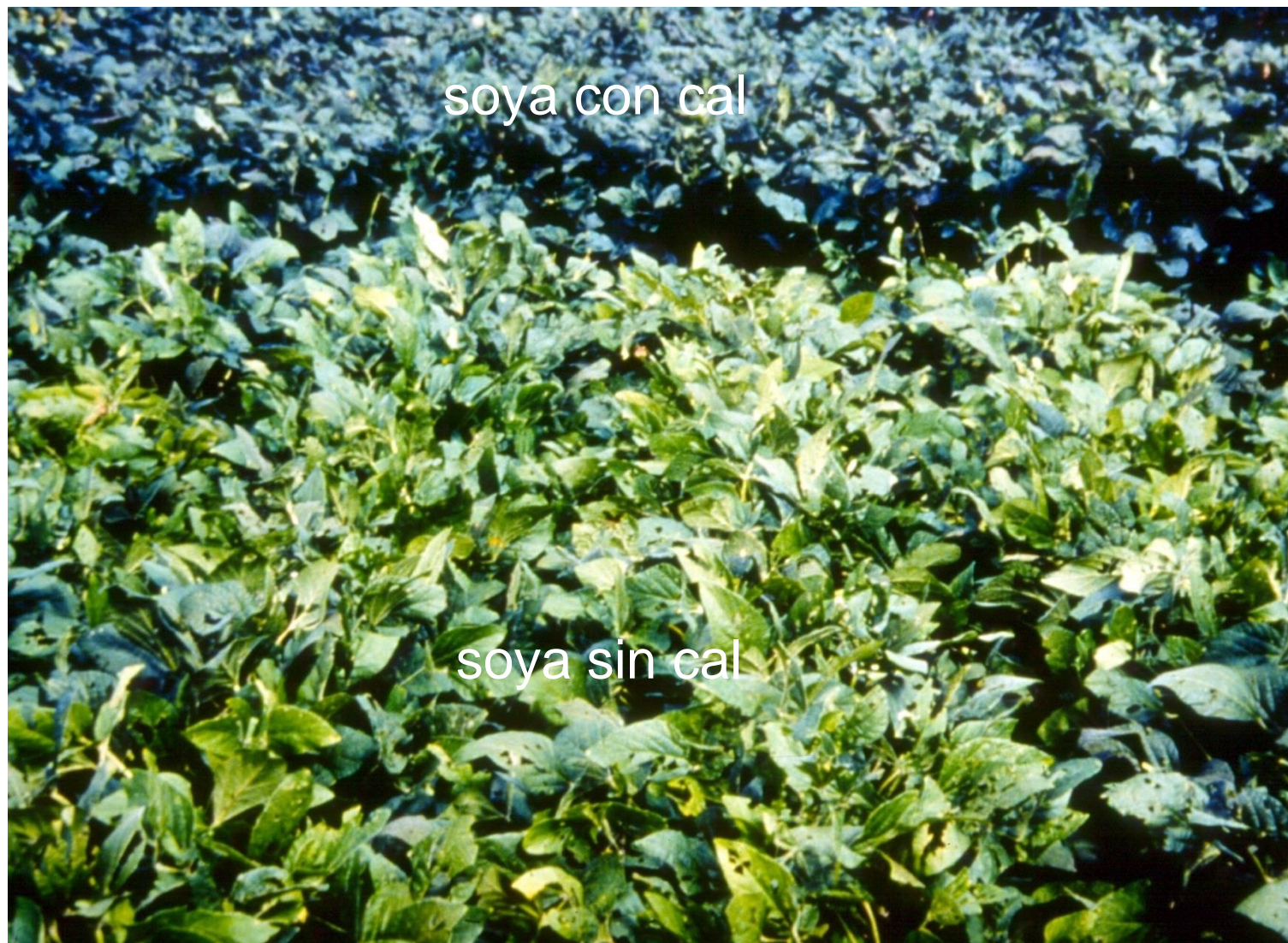


Ca y Mg

- Encalado para neutralizar Al^{+3} normalmente aporta necesidades de Ca y Mg
- Necesidades adicionales solventables con yeso y/o kieserita ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)

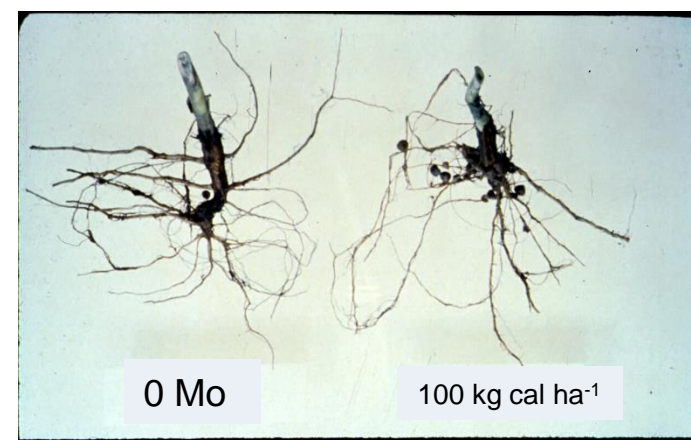
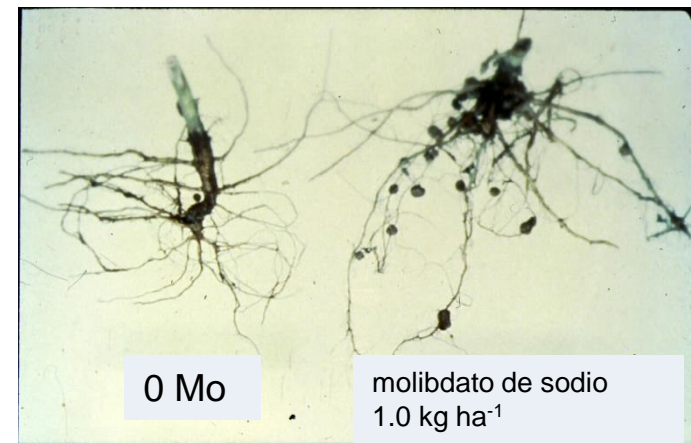
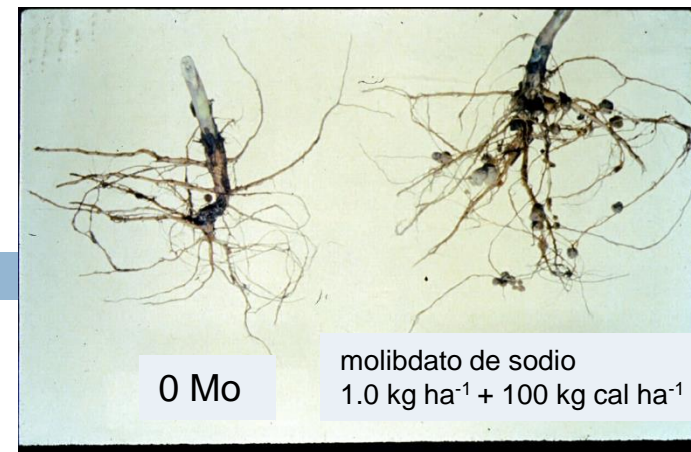
Deficiencia de molibdeno

Deficiencia
de Mo
induce
deficiencia
de N



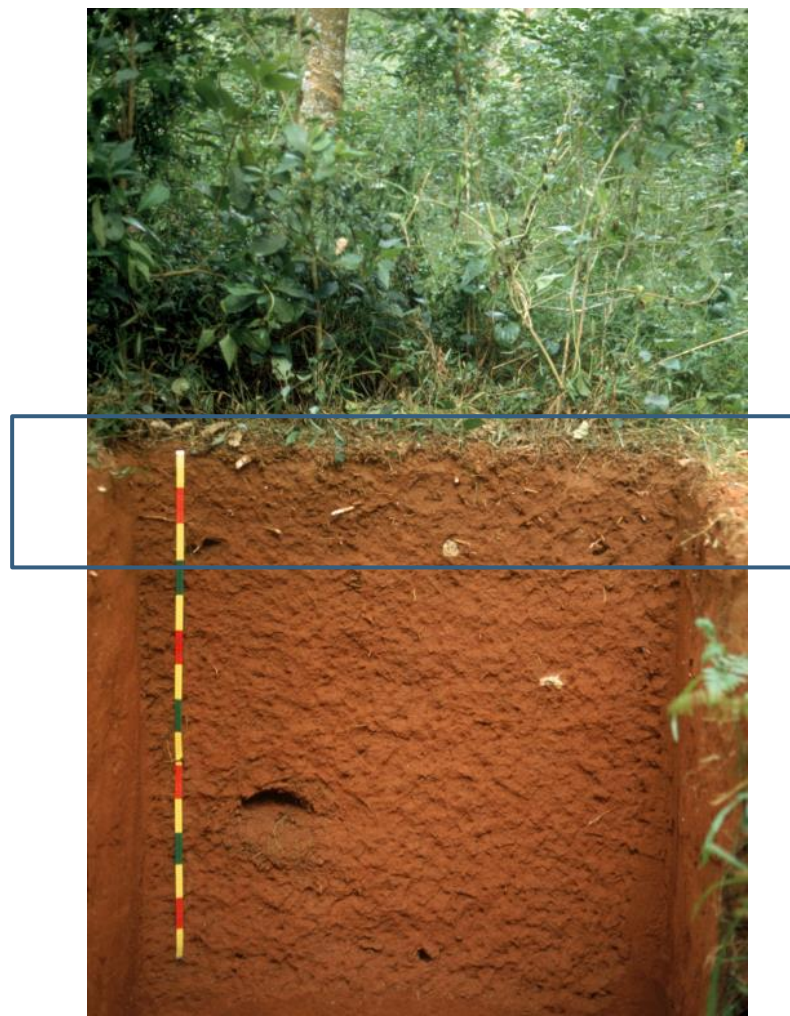
Nodulación

- Mo esencial para fijación simbiótica en leguminosas
- Disponibilidad de Mo en suelo depende de:
 - Contenido de Mo en suelo
 - pH
 - Adsorción de MoO_4^{2-} por hidróxidos de Fe y Al



Corrección de la acidez

Acidez superficial





Encalado

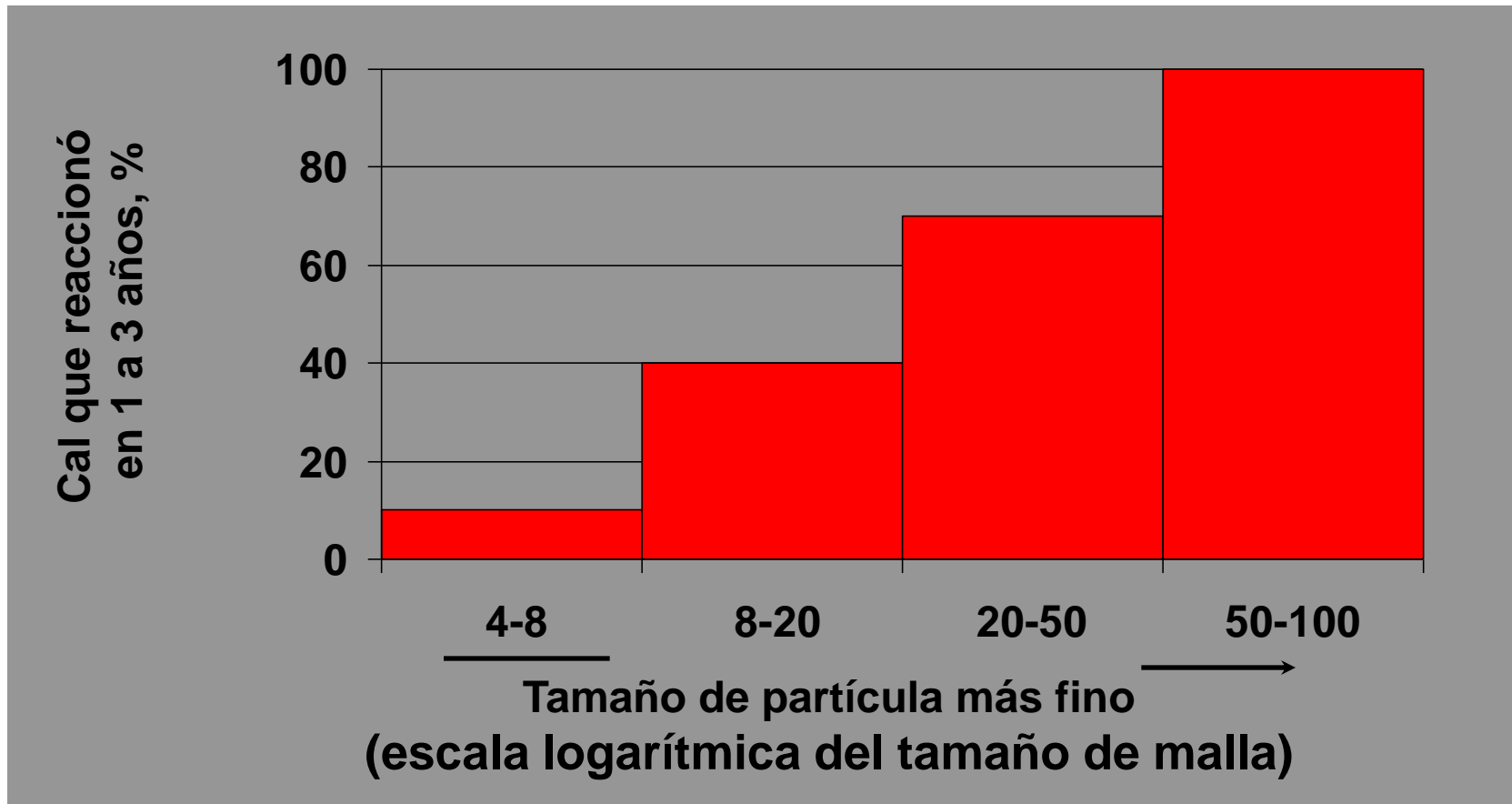
Encalado

- Materiales para el encalado
 - ▣ Óxido de calcio (CaO)
 - ▣ Hidróxido de calcio [Ca(OH)₂]
 - ▣ Cal agrícola o calcita (CaCO₃)
 - ▣ Dolomita (Ca,MgCO₃)
- Calidad de los materiales de encalado
 - ▣ Pureza química
 - ▣ Tamaño de partícula
 - ▣ Poder Relativo de Neutralización Total (PRNT)

Equivalente Químico

Material	Equivalente Químico (EQ)	Contenido de	
		Ca	Mg
		%	
Carbonato de calcio	100	40	
Dolomita	108	21.6	13.1
Óxido de calcio	179	71	
Hidróxido de calcio	138	54	
Hidróxido de magnesio	172		41
Carbonato de magnesio	119		28.5
Óxido de magnesio	248		60

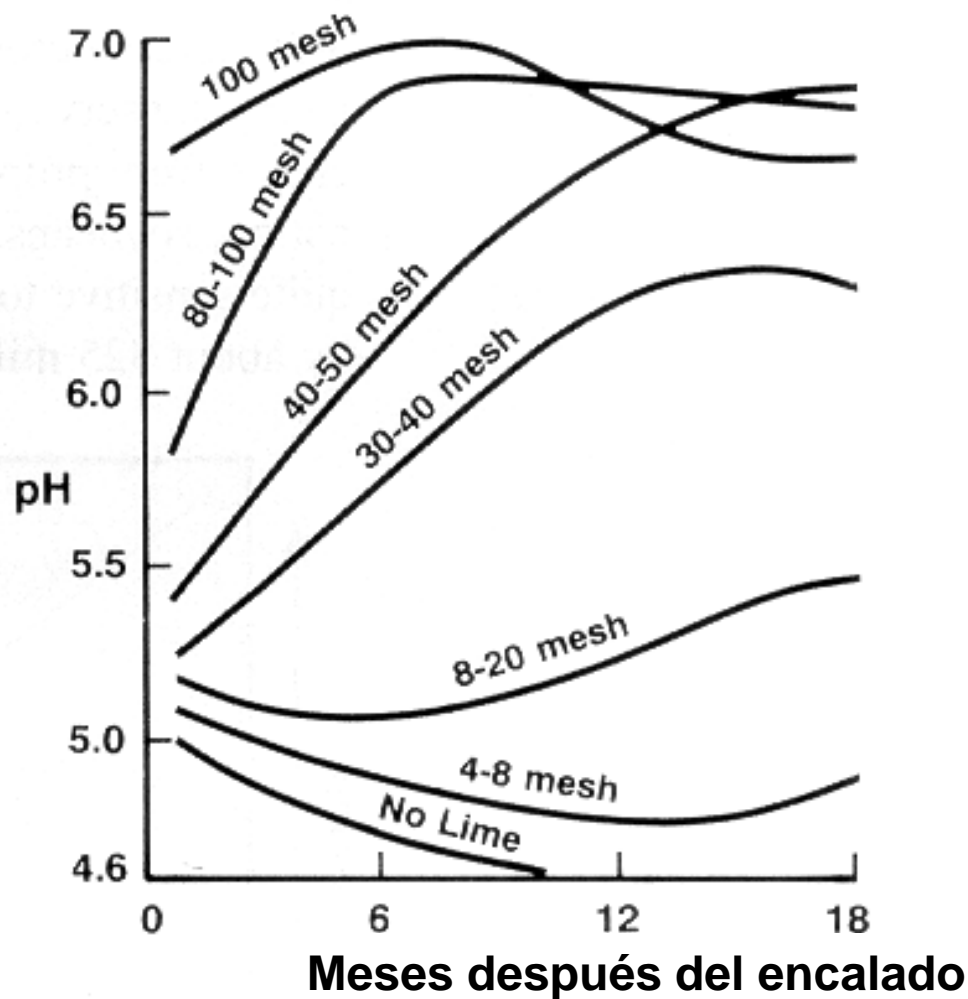
El tamaño de las partículas determina la reactividad



Eficiencia granulométrica (EG)

Número de malla	Composición de cal	Eficiencia relativa	Eficiencia granulométrica (EG)
		%	
< 8	5	0	0
8-20	15	20	3
20-40	30	40	12
40-60	20	60	12
>60	30	100	30
		Total	57

Efecto de la eficiencia granulométrica



Poder Relativo de Neutralización (PRNT)

$$\text{PRNT} = (\text{EG} \times \text{EQ})/100$$

Procedencia	Material	CaCO ₃	MgCO ₃	Ca	Mg	EG	EQ	PRNT
		----- % -----						
Turrialba	Calcita	99.2	0.8	39.7	0.2	99.9	100.0	99.9
Nicoya	Calcita	95.5	0.8	38.2	0.2	99.9	96.2	96.1
Patarrá	Calcita	82.0	0.8	32.8	0.2	98.3	82.8	81.4
Esparza	Calcita	97.3	1.3	38.9	0.3	60.0	98.3	59.0
Coto Brus	Calcita	88.3	0.8	35.3	0.2	62.7	89.1	55.9
Honduras	Dolomita	62.8	42.5	25.1	10.2	96.6	105.3	101.7
Belize	Dolomita	54.5	44.4	21.8	12.8	93.0	107.3	99.8
Guatemala	Dolomita	55.7	48.3	22.3	11.6	82.6	103.7	85.7
Patarrá	Cal+Magox	75.5	31.2	30.2	7.5	92.6	106.7	98.8

Método de aplicación de la cal

Tabla 7. Efecto del método de aplicación de dolomita en el rendimiento de maíz en Oxisoles de Colombia (Adaptado de León, 1998).

Método de aplicación	Rendimiento (kg/ha)		
	Sikuani*	Tuxpeño	CIM. 33 SA8
Voleo e incorporado**	4190	3447	3200
Banda	1653	1418	603

* Materiales de CIMMYT
** Dosis de dolomita = 3.5 t/ha

Época de aplicación de la cal

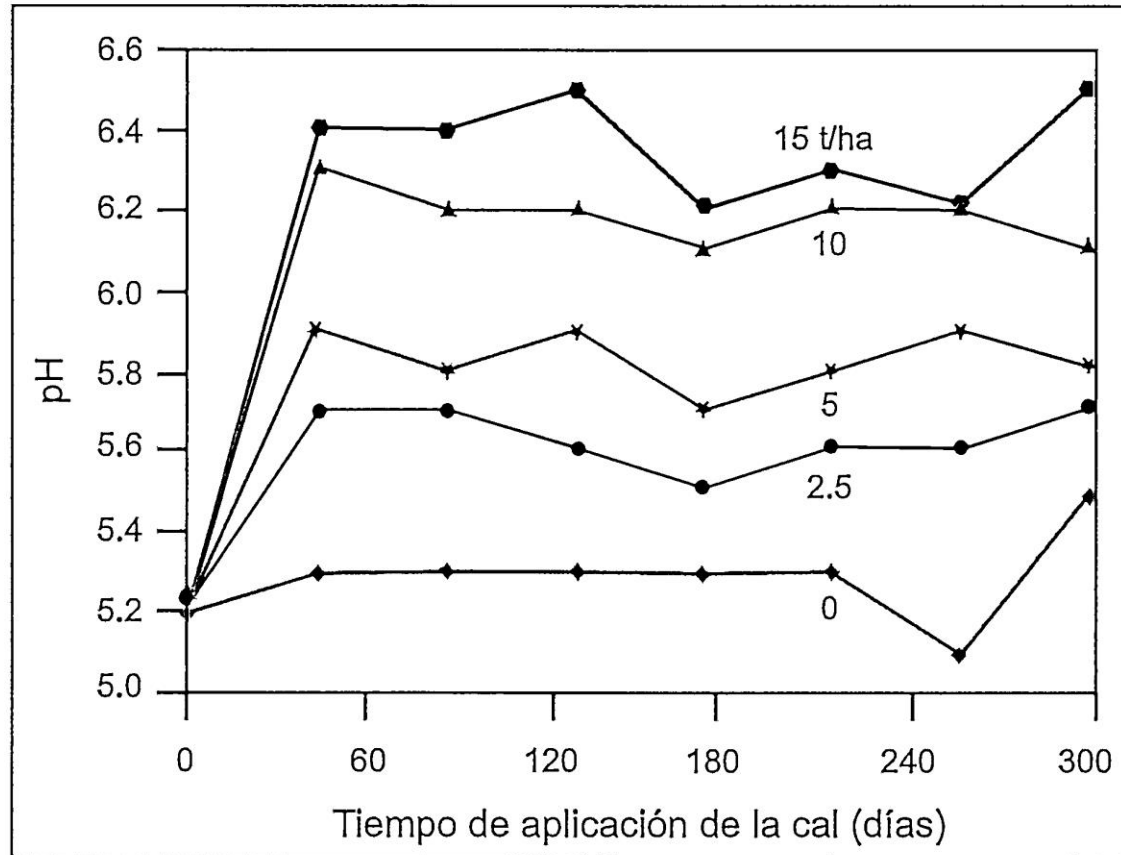
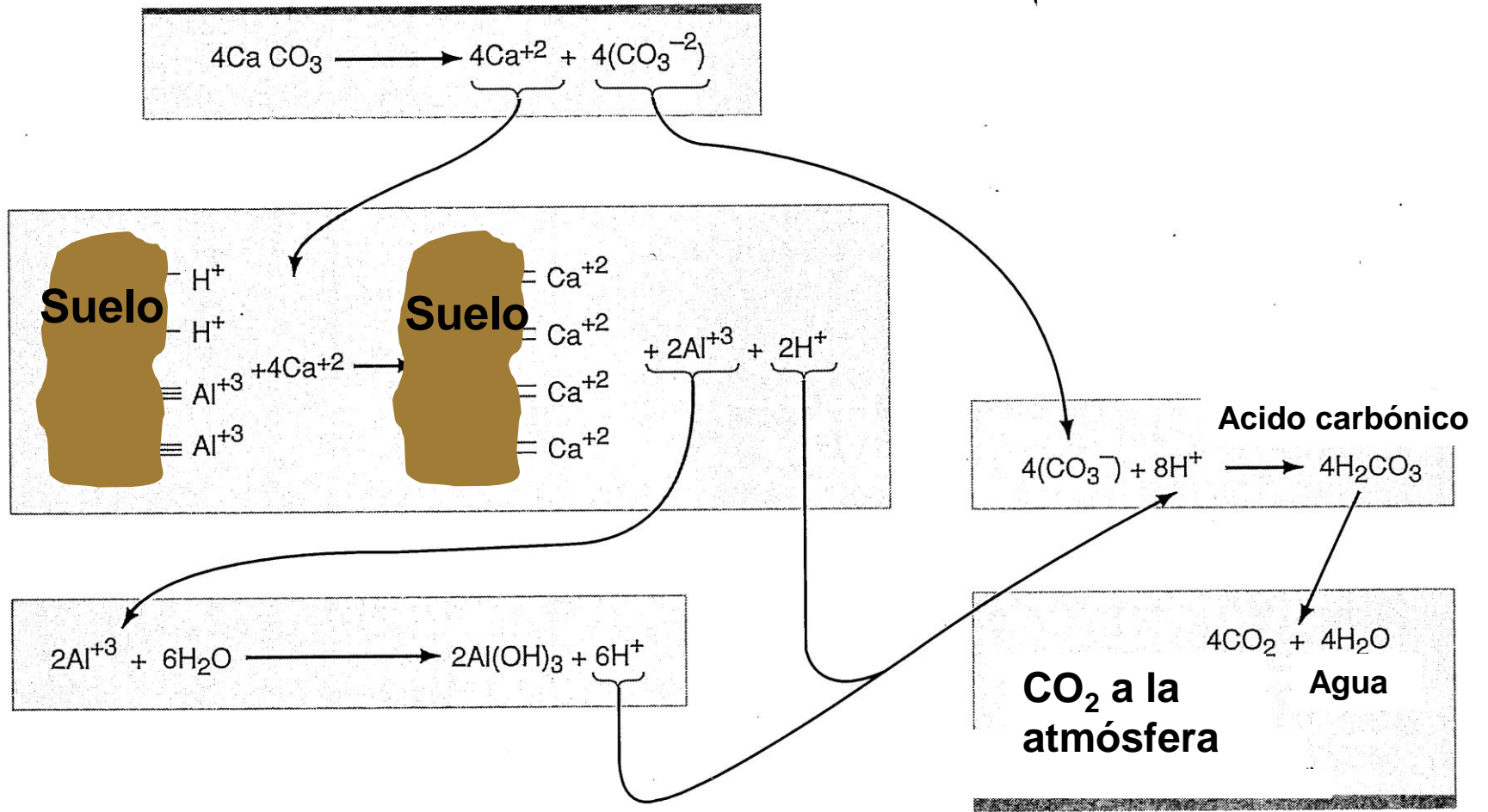


Figura 2. Velocidad de reacción de la cal a diferentes dosis de aplicación en un Andisol de Ecuador.

Reacciones de la cal en el suelo



¿Cuánta cal aplicar?

- Suelo
- Calidad de la cal
- Especie y cultivar
- Análisis económico

Criteria for determining lime requirements

Criterios dominantes

- Llevar al suelo a un pH específico
 - ▣ Se usa la información obtenida con soluciones amortiguadoras (también denominadas “búfer” o tampón)
- Eliminar las limitaciones para los cultivos
 - ▣ Toxicidades de Al y/o Mn
 - ▣ Deficiencias de Ca y/o Mg

Desarrollo histórico de los criterios

- Países donde se inició el desarrollo de la química agrícola (Inglaterra, Alemania, Francia, región central de EE.UU.) con suelos fértiles y con pH alrededor de la neutralidad
- ¿Cuál era el razonamiento?
 - Los problemas con la baja fertilidad de los suelos ácidos – con pH bajo – se solucionarían subiendo el pH a los valores de los suelos que no tienen tales problemas
 - Es fácil medir el pH

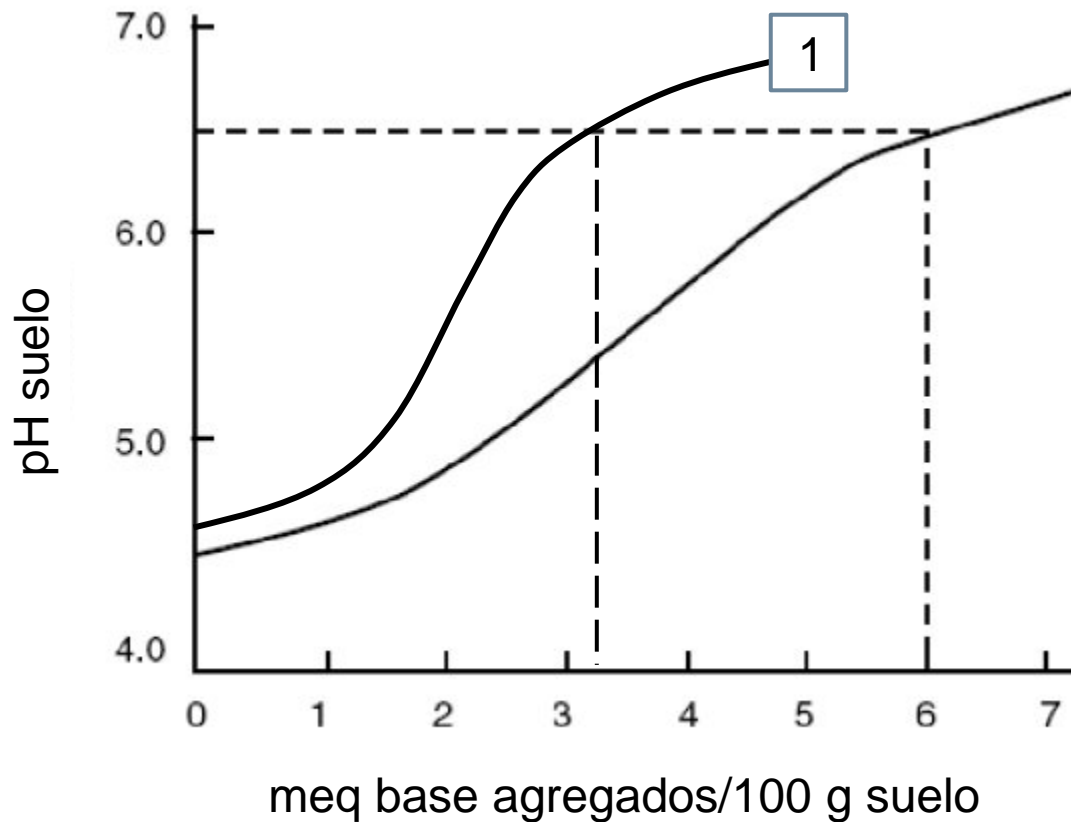
Para determinar el requerimiento de cal del suelo en base al pH debemos saber:

- ¿Cuál es el pH objetivo del suelo?
- ¿Cuánta cal hay que aplicar para llegar a ese pH?

¿Cuánta cal hay que aplicar?

- La cantidad de cal necesaria para cambiar el pH una unidad depende del suelo
- Titulación parcial con CaCO_3
 - ▣ Se agregan al suelo diferentes cantidades de CaCO_3 puro en partículas muy finas
 - ▣ Se agrega agua
 - ▣ Se deja reaccionar a temperatura ambiente (= Incubación)
 - ▣ ¿Semanas?
 - ▣ Se mide evolución del pH y se obtiene una curva estándar

Capacidad amortiguadora varía con los suelos



El suelo 2 tiene mayor capacidad amortiguadora que el 1 ya que requiere una cantidad mayor de base para llegar a un pH objetivo

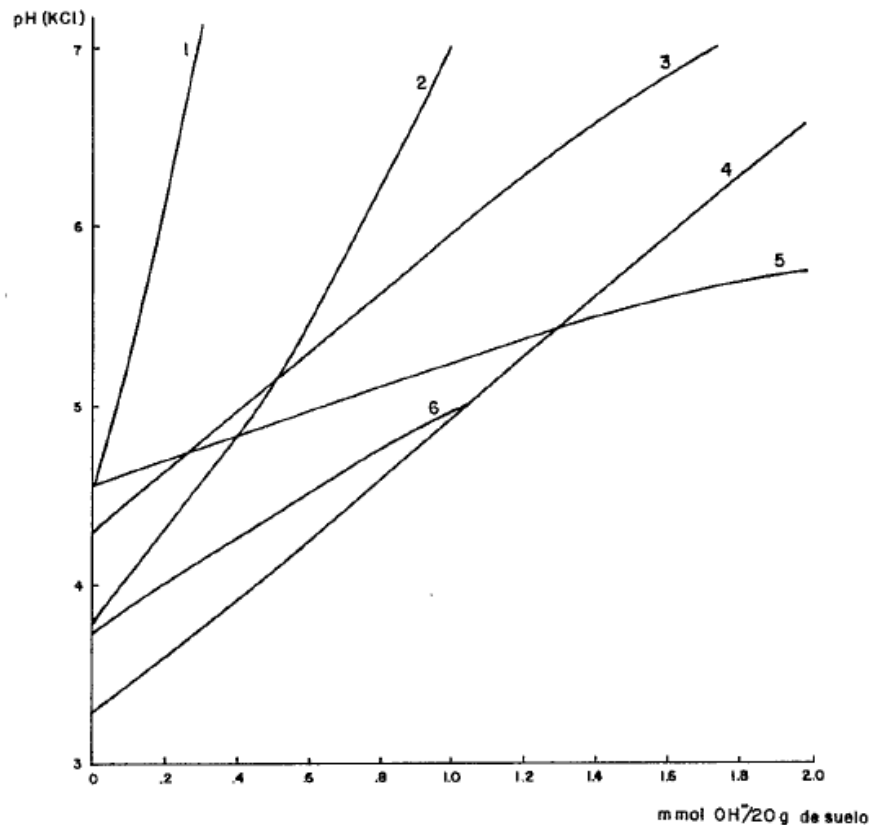


Figura 10. Curvas de titulación de varios suelos.

1. Cambisol dystrico (FAO), ubicado en una colina en terrenos de la escuela CBTA de Juan Rodríguez Clara, Veracruz, México; 81 % arena, 12 % limo, 7 % arcilla; pH (H₂O) 5.2; 1.15 % de materia orgánica; CIC de 2.7 meq/100 g.
2. Feozem háptico (FAO), ubicado en Ahualulco, Jalisco, México; 66 % arena, 25 % limo, 9 % arcilla; pH (H₂O) 4.5; 1 % de materia orgánica; CIC de 3.9 meq/100 g.
3. Plintic palehumult (USDA), serie Huapacal, Sabana de Huimanguillo, Tabasco, México; 9.3 % arcilla, pH (H₂O) 5.4; 4.64 % de materia orgánica; CIC de 4.05 meq/100 g.
4. Suelo tipo loess de una región forestal cerca de Doesburg, Gelderland, Holanda, pH (H₂O) 4.1; 8 % de materia orgánica; CIC de 12 meq/100 g.
5. Plintic palehumult (USDA): serie Rosario, Sabana de Huimanguillo, Tabasco, México; 16 % de arcilla; pH (H₂O) 5.3; 8 % de materia orgánica; CIC de 5.5 meq/100 g.
6. Cambisol úmbrico (FAO). Ejido Los Tigres, Rodríguez Clara, Veracruz, México; 40 % arena, 25 % limo, 35 % arcilla; pH (H₂O) 4.0; 3.7 % de materia orgánica; CIC de 18.4 meq/100 g.

Ventajas y desventajas de las titulaciones

Aspectos positivos

- Las incubaciones dan información muy importante sobre la capacidad amortiguadora de los suelos
- Los resultados de las incubaciones se usan como referencias para calibrar otros métodos

Aspectos negativos

- Requieren mucho tiempo
- La reacción entre la base y el suelo no llega a un equilibrio

Incubaciones vs. campo

- Determinaciones en laboratorio subestiman los requerimientos de cal determinados en campo

Alternativa: Uso de soluciones amortiguadoras (también conocidas como soluciones “búfer” o “tampón”)

- Un volumen conocido de una solución amortiguadora se equilibra con un peso o volumen fijo de suelo
- Se mide el pH de la mezcla suelo-solución amortiguadora
- La disminución en el pH de la solución amortiguadora – después de mezclarla con el suelo – es una medida de la acidez del suelo que debe ser neutralizada con una base para llegar a un pH determinado

Uso de soluciones amortiguadoras

- Rápido y económico
- Ejemplo con solución Adams-Evans (pH 8.0)

pH suelo en agua	pH suelo en solución amortiguadora							
	7.9	7.80	7.70	7.60	7.50	7.40	7.30	
6.3	183	366	549	732	915	1098	1281	
6.1	324	648	972	1295	1619	1943	2267	
5.9	436	872	1308	1744	2180	2616	3052	
5.7	528	1056	1584	2112	2641	3169	3697	
5.5	605	1211	1816	2422	3027	3633	4238	
5.3	672	1344	2016	2689	3361	4033	4705	
5.1	731	1462	2193	2924	3655	4386	5117	
4.9	785	1569	2354	3138	3923	4707	5492	
4.7	836	1672	2507	3343	4179	5015	5850	

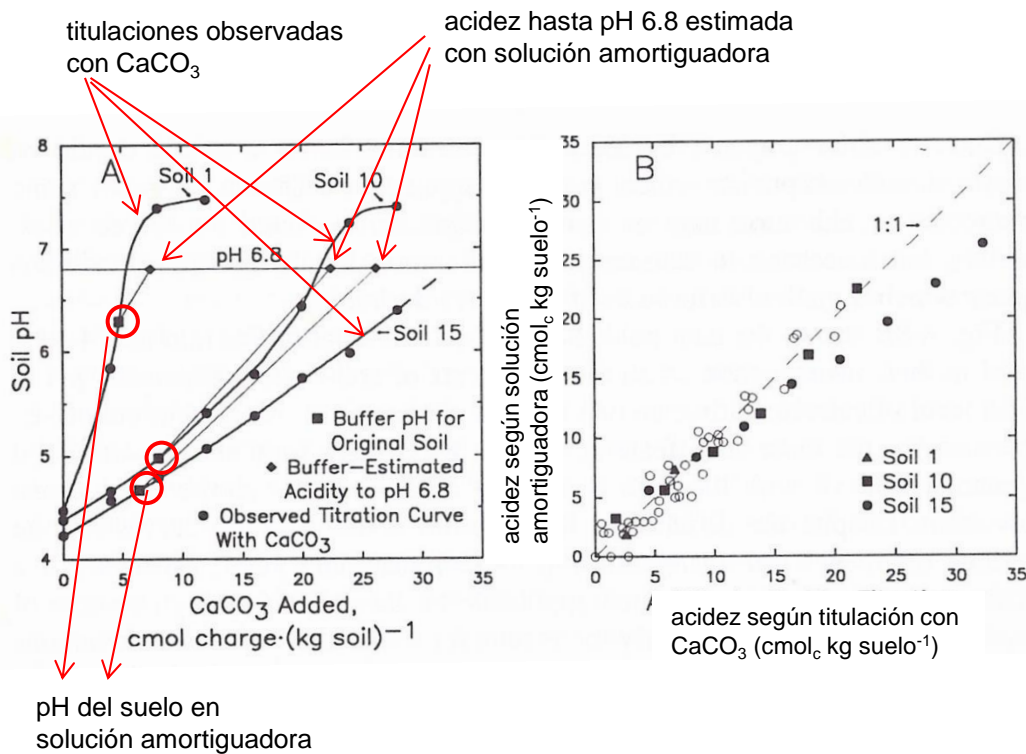
libras acre⁻¹ (~ 2,000 kg ha⁻¹) de cal a aplicar en 2,000,000 libras (~ 908 t) de suelo

Métodos basados en soluciones amortiguadoras

método	pH de solución amortiguadora	Tipos de suelos para los que fueron desarrollados
Adams y Evans	8.0	Ultisoles de baja CIC
Mehlich	6.6	Ultisoles de baja CIC
SMP	7.5	Alfisoles requerimiento de cal > 4.5 t ha ⁻¹ pH<5.8 MO<10%

Calibraciones necesarias

- Comparar estimaciones basadas en soluciones amortiguadoras y CaCO_3
- Evaluar recomendaciones en el campo



Limitaciones de las soluciones amortiguadoras

- Miden una proporción de la acidez medida con CaCO_3
- Tal proporción varía entre las soluciones usadas

Limitaciones de las soluciones amortiguadoras

- Originalmente no fueron calibradas con estudios de campo
- Las calibraciones de los estudios de incubación han sido adoptadas y se aplican en condiciones muy distintas de las originales
- Se requieren calibraciones locales

Solução SMP (Shoemaker-McLean-Pratt) - Brasil

Tabela 8.1. Determinação da necessidade de calagem para três valores de pH de solo em água e de H + Al³⁺, com base no pH da suspensão de solo na solução tampão SMP.

pH _{SMP}	San Pablo			pH	Río Grande del Sur			H + Al ³⁺ (mmol/dm ³) (SP) ³
	6,5 (SP) ¹	6,0 (SP)	5,5 (SP)		6,5 (RS) ²	6,0 (RS)	5,5 (RS)	
	Necessidade de calagem (CaCO ₃ – t/ha x 20 cm)							
6,9	0,4						16	
6,8	0,8						18	
6,7	1,2	0,3					20	
6,6	1,5	0,5					22	
6,5	2,0	0,7	0,1	0,7	0,2		25	
6,4	2,3	0,9	0,2	1,5	0,6		28	
6,3	2,8	1,1	0,3	2,1	1,2	0,2	31	
6,2	3,3	1,4	0,5	2,7	1,7	0,6	34	
6,1	3,8	1,8	0,7	3,4	2,2	1,0	38	
6,0	4,5	2,2	0,9	4,1	2,8	1,4	42	
5,9	5,2	2,7	1,1	4,8	3,3	1,9	47	
5,8	6,1	3,2	1,4	5,5	3,9	2,3	52	
5,7	6,9	3,8	1,7	6,2	4,5	2,8	58	
5,6	7,9	4,4	2,0	7,0	5,1	3,3	64	
5,5	8,9	5,1	2,4	7,9	5,8	3,8	72	
5,4	10,1	5,8	2,8	8,7	6,5	4,4	80	
5,3	11,2	6,7	3,2	9,6	7,2	4,9	88	
5,2	12,5	7,6	3,7	10,6	8,0	5,5	98	
5,1	13,8	8,5	4,4	11,7	8,8	6,2	109	
5,0	15,3	9,5	5,0	12,9	9,7	6,9	121	
4,9	16,7	10,5	5,5	14,2	10,7	7,7	135	
4,8	18,3	11,6	6,1	15,7	11,9	8,5	150	

Fonte: ¹Raij, Cantarella e Zullo (1979); ²Siqueira e outros (1987); ³Quaggio, Raij e Malavolta (1985, tradução nossa).

Solución SMP (Shoemaker-McLean-Pratt) - EEUU

Table 5-1. Relationships between soil-SMP-buffer pH and lime requirement (LR) values to achieve pH 5.5, 6.0, 6.5, and 7.0 of mineral soils.

Soil-buffer pH	LR†			
	pH 5.5	pH 6.0	pH 6.5	pH 7.0
6.9	0.5	0.6	0.7	0.9
6.8	0.6	1.0	1.2	1.5
6.7	0.7	1.4	1.8	2.2
6.6	0.9	1.8	2.5	2.8
6.5	1.2	2.3	3.3	3.6
6.4	1.6	2.9	4.0	4.4
6.3	2.0	3.5	4.9	5.2
6.2	2.5	4.2	5.7	6.0
6.1	3.1	4.9	6.6	7.0
6.0	3.8	5.6	7.5	8.0
5.9	4.5	6.5	8.5	9.0
5.8	5.3	7.3	9.5	10.0
5.7	6.1	8.2	10.5	11.2
5.6	7.0	9.2	11.6	12.4
5.5	8.0	10.2	12.7	13.6
5.4	9.1	11.3	14.0	14.9
5.3	10.2	12.4	15.0	16.2
5.2	11.4	13.6	16.2	17.6
5.1	12.7	14.8	17.5	19.0
5.0	14.0	16.1	18.8	20.4
4.9	15.5	17.4	20.1	22.0

† Lime requirement in metric tonnes $\text{CaCO}_3 \text{ ha}^{-1}$ for a furrow layer of 20-cm depth (2 million L) soil.

Table 5-1. Relationships between soil-SMP-buffer pH and lime requirement (LR) values to achieve pH 5.5, 6.0, 6.5, and 7.0 of mineral soils.

Soil-buffer pH	LR†			
	pH 5.5	pH 6.0	pH 6.5	pH 7.0
6.9	0.5	0.6	0.7	0.9
6.8	0.6	1.0	1.2	1.5
6.7	0.7	1.4	1.8	2.2
6.6	0.9	1.8	2.5	2.8
6.5	1.2	2.3	3.3	3.6
6.4	1.6	2.9	4.0	4.4
6.3	2.0	3.5	4.9	5.2
6.2	2.5	4.2	5.7	6.0
6.1	3.1	4.9	6.6	7.0
6.0	3.8	5.6	7.5	8.0
5.9	4.5	6.5	8.5	9.0
5.8	5.3	7.3	9.5	10.0
5.7	6.1	8.2	10.5	11.2
5.6	7.0	9.2	11.6	12.4
5.5	8.0	10.2	12.7	13.6
5.4	9.1	11.3	14.0	14.9
5.3	10.2	12.4	15.0	16.2
5.2	11.4	13.6	16.2	17.6
5.1	12.7	14.8	17.5	19.0
5.0	14.0	16.1	18.8	20.4
4.9	15.5	17.4	20.1	22.0

† Lime requirement in metric tonnes CaCO₃ ha⁻¹ for a furrow layer of 20-cm depth (2 million L) soil.

Tabela 8.1. Determinação da necessidade de calagem pa de solo na solução tampão SMP.

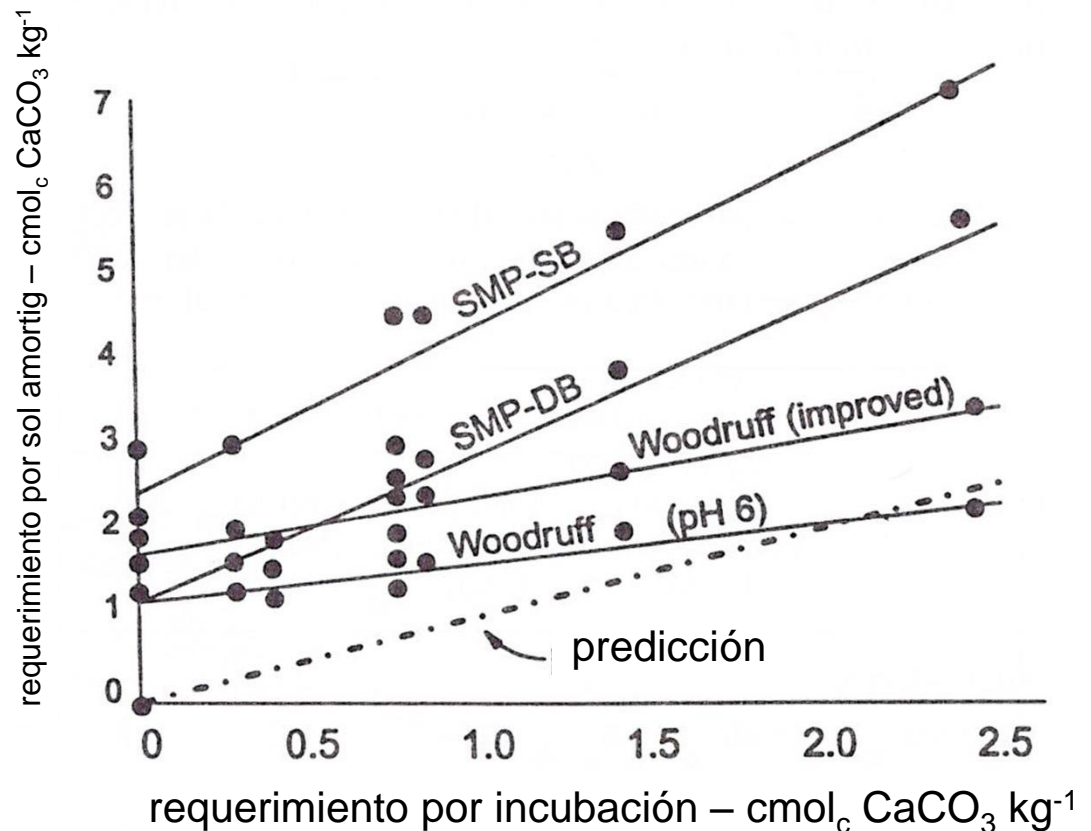
pH _{SMP}	San Pablo		
	6,5 (SP) ¹	6,0 (SP)	5,5 (SP)
Necessidade de c			
6,9	0,4		
6,8	0,8		
6,7	1,2	0,3	
6,6	1,5	0,5	
6,5	2,0	0,7	0,
6,4	2,3	0,9	0,
6,3	2,8	1,1	0,
6,2	3,3	1,4	0,
6,1	3,8	1,8	0,
6,0	4,5	2,2	0,
5,9	5,2	2,7	1,
5,8	6,1	3,2	1,
5,7	6,9	3,8	1,
5,6	7,9	4,4	2,
5,5	8,9	5,1	2,4
5,4	10,1	5,8	2,8
5,3	11,2	6,7	3,2
5,2	12,5	7,6	3,7
5,1	13,8	8,5	4,4
5,0	15,3	9,5	5,0
4,9	16,7	10,5	5,5
4,8	18,3	11,6	6,1

Fonte: ¹Raij, Cantarella e Zullo (1979); ²Siqueira e outros (1987); ³Quaggio, Raij e Malavolta (1985, tradução nossa).



Predicciones muy pobres

- Comparación del requerimiento de cal para pH 6.0 determinado por incubación con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ con el predicho por varias soluciones amortiguadoras para suelos de Idaho (EE.UU)
- La línea de predicción representa la relación ideal entre los requerimientos determinados por ambos métodos



Resultados de evaluaciones de campo

Coeficientes de determinación (r^2) para la predicción de los requerimientos de cal basados en la respuesta observada al encalado en condiciones de campo

Procedimiento	Coeficiente de determinación (r^2)		
	Edmeades et al. (1985) ^a	Aitken et al. (1995) ^b	Nagle (1983) ^a
Adams-Evans	0.43		0.24
SMP-sencillo	0.45		0.18
SMP-doble	0.49	0.73 (0.64)	0.36
Mehlich	----		0.24
Yuan	0.21	0.71 (0.87)	0.10

^apH objetivo=6.0

^bpH objetivo=5.5 y (6.5), respectivamente

Causas de pobres resultados

- Diferencias en exactitud de calibraciones
- Discrepancias entre pH del suelo en la solución amortiguadora y el pH objetivo
- Variaciones entre las soluciones amortiguadoras en pH inicial y capacidades amortiguadoras

Causas del pobre comportamiento en el campo

1. Inexactitud en la calibración de la solución amortiguadora
La exactitud es especialmente importante en suelos con bajas capacidades de amortiguamiento que pueden ser sobre-encalados en una sola aplicación
2. Aplicación de cal desuniforme
3. Volumen/peso de suelo no adecuado
4. Uso de factores de corrección genéricos para la calidad de la cal

Resultados del sur de Veracruz

- SMP no recomendables
- Sobreestima necesidades de cal
- Problemas potenciales por sobre-encalado



entonces...

¿Cómo ha ido evolucionando el concepto de pH óptimo?

- Inicialmente pH 8.2 a 8.4
 - ▣ pH aproximado del suelo en equilibrio con cal
- 100% de CIC saturada por bases
 - ▣ Como la CIC se mide a pH 7.0, este valor se convirtió en el pH ideal
- $\text{pH} \cong 7.0$ adecuado para sistema dependiente en leguminosas (oeste medio de EEUU)
- Desplazamiento de leguminosas por fertilizantes N sintéticos eliminó justificación del $\text{pH} \cong 7.0$

Aun actualmente

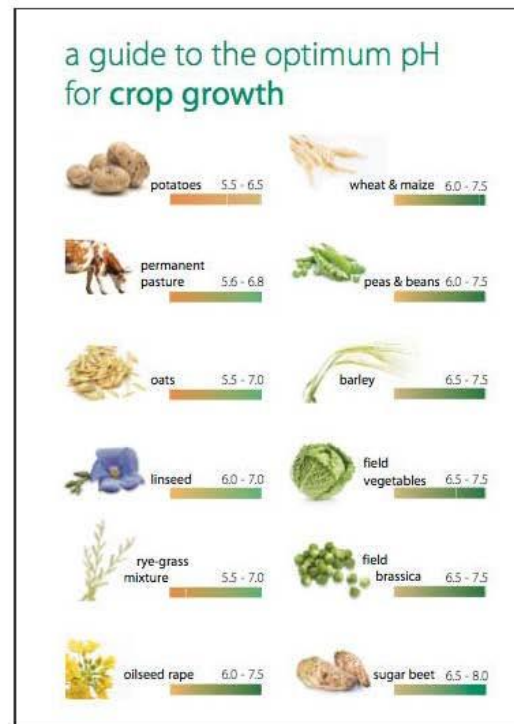
Crop requirements

pH Management + Natural Lime = Successful Crops

The replacement of calcium lost from the soil by leaching and crop uptake is essential to maximise production and profits from cereal crops.

The growth of cereals of high protein content depends on stability of pH during the growing cycle; barley is an example where sensitivity to soil pH is particularly apparent. Sugar beet also takes up nutrients most effectively in soils with a pH 6.5-7.0. Increasing acidity results in stunted plants and fangy roots.

The crop requirements diagram provides a guide to the optimum pH levels for some important crops. If soil pH is lower than the bottom of the indicated range, then crop yields will begin to suffer severely due to the crops' inability to tolerate that level of acidity. Those crops which are tolerant to acidity would be more profitable at higher pH values. At a pH of 4.9 one is not getting as good a response from the fertilisers applied to maximise the potato crop as at the optimum pH. Lime also aids soil fertility in grassland and ensures that added fertilisers are utilised to maximum effectiveness and helps to increase crop yield either as hay, silage, or grazing. It is particularly important to adjust soil pH well in advance for sensitive crops such as oilseed rape, sugar beet, barley and peas. Spreading should be even, accurate, and cause little disruption to the soil structure.



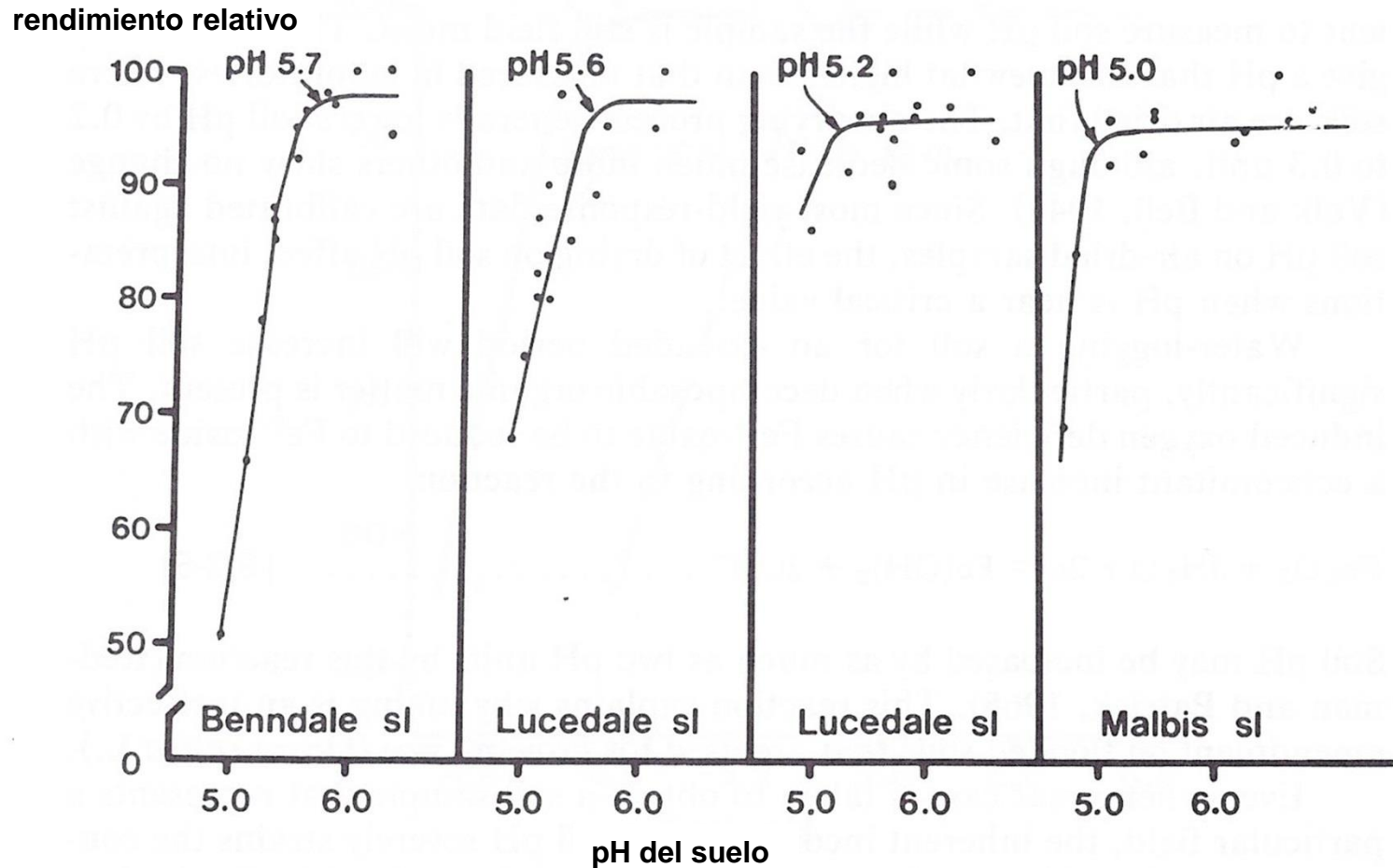
pH crítico

- pH mínimo por encima del cual el encalado no aumentará los rendimientos

cultivo	pH crítico		
	sur de EEUU	oeste medio de EEUU	Reino Unido
algodón	5.0-5.7		
maíz	5.0-5.5	5.0-6.0	5.5
soya	5.0-5.7	6.0	
trigo	5.5		5.5
alfalfa	6.0	> 6.0	6.2
zacate Bermuda	5.0		
sorgo	5.3-5.5		

Sumner, 1997

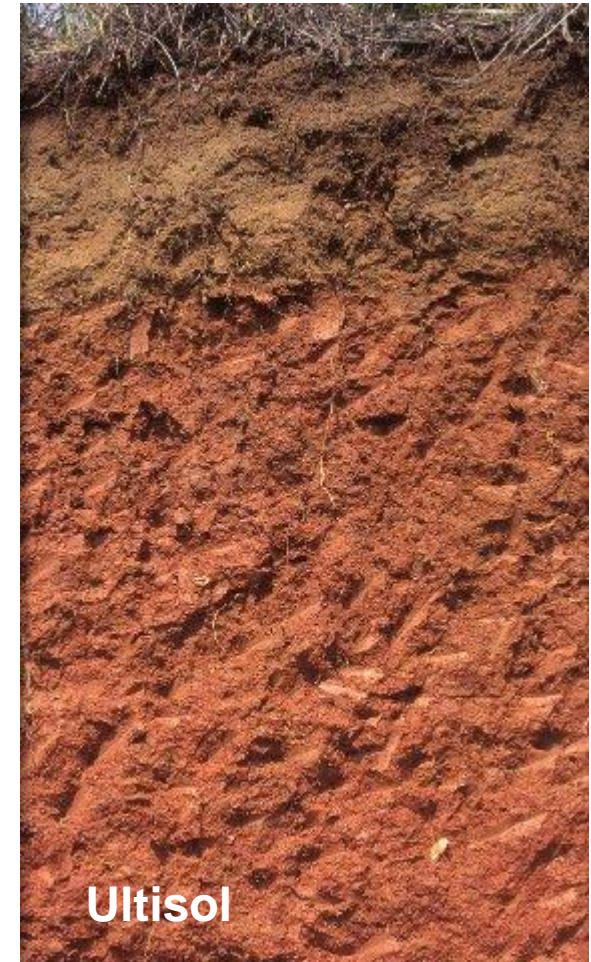
pH crítico es variable



pH crítico del suelo para el máximo rendimiento de soja en experimentos de campo en suelos de diferentes tipos

Evolución tecnológica en otras partes del mundo

- Investigación despegó después de la irrupción de los fertilizantes N sintéticos
- Con abundantes suelos de baja fertilidad (principalmente Oxisoles and Ultisoles) con bajo contenido de bases y niveles tóxicos de Al^{+3} y frecuentemente improductivos sin un acompañamiento de cal y nutrientes



Wikipedia

Resultados de la nueva investigación

- La mayoría de los cultivos – incluyendo leguminosas – no responden a la cal por encima del punto en el que las toxicidades son eliminadas, si nutrientes tales como Ca, Mg, Mo y P están presentes en cantidades suficientes

¿por qué debemos encalar los suelos?

Crear condiciones para la producción sostenible de cultivos

Condiciones para la producción sostenible de cultivos

- ausencia de toxicidades de Al^{+3} y Mn^{+2}
- niveles adecuados de Ca^{+2} y Mg^{+2}
- acceso a agua
- disponibilidad de nutrientes esenciales
- funcionamiento de asociaciones raíces-microorganismos
- sanidad adecuada

...¿y el pH?

- Las plantas no responden al pH por sí mismo
 - ▣ toxicidad directa del H^+ prácticamente inexistente
- Nos deberíamos enfocar en los factores limitantes reales asociados con el pH
 - ▣ toxicidades
 - ▣ deficiencias
 - ▣ desbalances

En resumen: Criterios para determinar las necesidades de cal

- En base a corregir toxicidades/deficiencias /desbalances
 - ▣ Requerimiento Biológico de Cal
 - ▣ Enfocado en la planta
- En base a un pH objetivo
 - ▣ Requerimiento de Cal del Suelo
 - ▣ Enfocado al suelo

Clasifiquemos los suelos ácidos

$\text{pH}_a < 5.2-5.4$

toxicidades de Al^{+3} y Mn^{+2} generalmente los factores más limitantes para el crecimiento de los cultivos

$\text{pH}_a > 5.4$

respuestas al encalado rara vez debidas a la eliminación de toxicidades sino al aumento de disponibilidad y provisión de nutrientes

Determinación de los Requerimientos de Cal

□ Método Combinado en base al Al intercambiable

$$\text{CaCO}_3(\text{t/ha}) = \frac{1.5 (\text{Al} - \text{PRS}) (\text{C I C E})}{100} \times f \quad (25)$$

$$f = 100/\text{PRNT}$$

de donde:

Al = Porcentaje de saturación de Al actual

PRS = Porcentaje de saturación de Al deseado

Tabla 19. Porcentaje recomendado de saturación de aluminio (PRS) para cultivos en producción (Bertsch, 1995).

Cultivo	PRS ¹ (%)
Banano	<15
Cacao	<20
Café	<25
Camote	<20
Caña de azúcar	<20
Caupí	<40
Cítricos	<20
Coco	<30
Frijol negro	<20
Gandul	<40
Maíz	<25
Mango	<20
Maní	<25
Palma aceitera	<15
Papa	<20
Pejibaye	<25
Piña	<30
Plátano	<25
Sorgo	<20
Soya	<10
Trigo	<10
Yuca	<60

1. Estos valores de PRS han sido estimados a través de la práctica



Información General

No. de Registro: SU- 11277	Rancho: Nuevo Eden	Cultivo Anterior: Maiz
Centro de Recepción:	Sector del Predio: Dr.Domingo Chanona	Manejo de Residuos: Incorporado Reciente
Fecha Recepción: 01/01/2008	Prof. Muestra: 0-20 cm	Cultivo a Plantar:
Fecha Entrega: 01/01/2008	Ubicación GPS Lat: Long:	Meta de Rendimiento: Ton/Ha
Id Cliente: 4,606	Municipio : Villa Flores	Tipo de Agricultura:
Cliente: Fidel Hernandez de la Cruz	Estado: Chiapas	Fuente de Agua:

Propiedades Físicas del Suelo

Clase Textural:	Franco Arcillo Arenoso	Color Munsell
Punto de Saturación :	35.0 % Mediano	Seco: 10YR6/3
Capacidad de Campo :	18.5 % Mediano	Hum: 10YR4/3
Punto March. Perm. :	11.0 % Mediano	Dap: 1.24 g/cm3
Cond. Hidráulica :	3.50 cm/hr	Mediano

Reacción del Suelo y Necesidades de Yeso

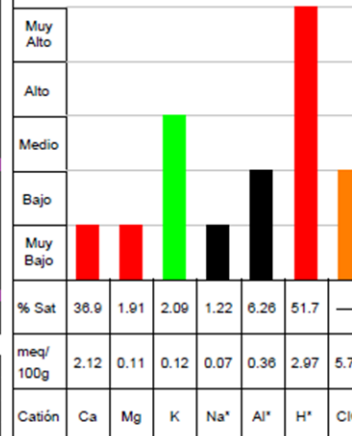
pH (1:2 agua)	: 5.53	Mod. Acido
pH Buffer :	6.52	
Carbonatos Totales (%) :	0.01 %	Libre
Salinidad (CE Extracto) :	0.18 ds/m	Muy Bajo
Requerimientos de Yeso :	No Req.	Ton/Ha

Fertilidad del Suelo

Det	Result	Unid	Muy Bajo	Bajo	Mod. Bajo	Mediano	Mod. Alto	Alto	Muy Alto
MO	1.36	%							
N-Inorg.	4.16	ppm							
P-Bray	23.7	ppm							
K	48.1	ppm							
Ca	424	ppm							
Mg	13.0	ppm							
Na *	15.7	ppm							
Fe	63.8	ppm							
Zn	0.49	ppm							
Mn	12.7	ppm							
Cu	0.33	ppm							
B	0.11	ppm							
Al *	32.8	ppm							
S	50.0	ppm							

* Es deseable que estos elementos tengan un bajo contenido

Cationes Intercambiables Gráfico Basado en % de Saturación



Relaciones entre cationes (basadas en me/100g)

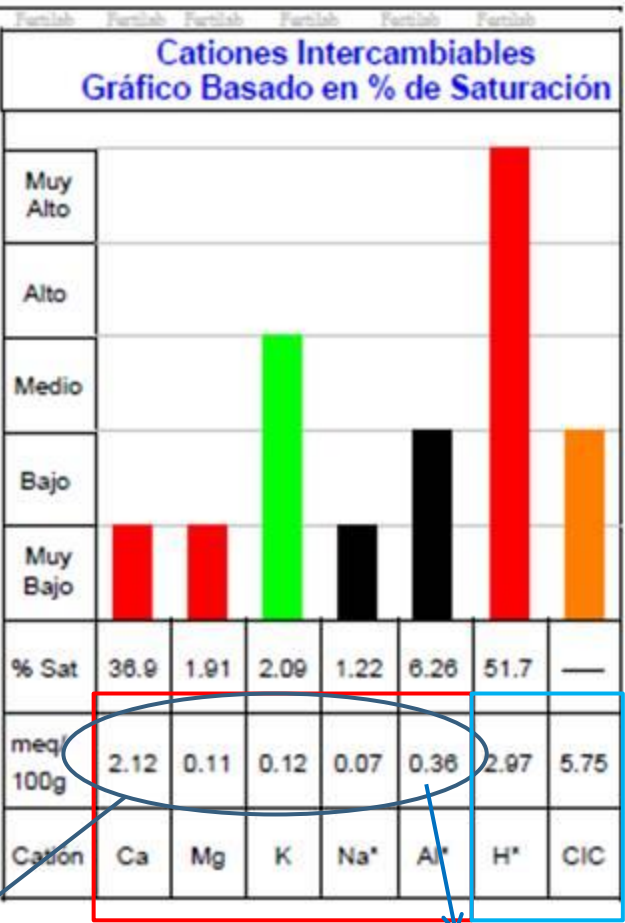
Relación	Ca/K	Mg/K	Ca+Mg/K	Ca/Mg
Resultados	18.0	0.92	18.6	19.3
Interpretación	Alto	Muy Bajo	Bajo	Muy Alto

Interpretación Resumida del Diagnostico de la Fertilidad del Suelo

CaCO3.MgCO3=1.8
Cal Dolomitizada Tn/ha

Fertilidad del Suelo										
Det	Result	Unid	Muy Bajo	Bajo	Mod. Bajo	Mediano	Mod. Alto	Alto	Muy Alto	
MO	1.38	%	[Barra amarilla]							
N-Inorg.	4.16	ppm	[Barra naranja]							
P-Bray	23.7	ppm	[Barra verde]							
K	48.1	ppm	[Barra roja]							
Ca	424	ppm	[Barra roja]							
Mg	13.0	ppm	[Barra roja]							
Na *	15.7	ppm	[Barra negra]							
Fe	63.8	ppm	[Barra morada]							
Zn	0.49	ppm	[Barra naranja]							
Mn	12.7	ppm	[Barra verde]							
Cu	0.33	ppm	[Barra naranja]							
B	0.11	ppm	[Barra roja]							
Al *	32.8	ppm	[Barra roja]							
S	50.0	ppm	[Barra morada]							

* Es deseable que estos elementos tengan un bajo contenido



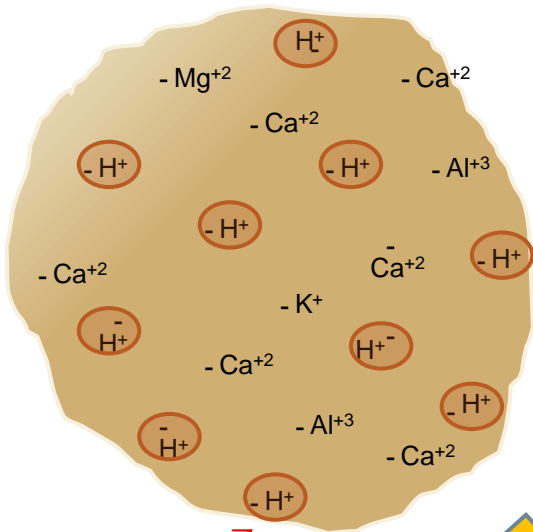
Relaciones entre cationes (basadas en me/100g)

Relación	Ca/K	Mg/K	Ca+Mg/K	Ca/Mg
Resultados	18.0	0.92	18.6	19.3
Interpretación	Alto	Muy Bajo	Bajo	Muy Alto

2.78 meq/100g = CICE $Al_{int} = \frac{0.36}{2.78} = 13\%$



pH=5.5

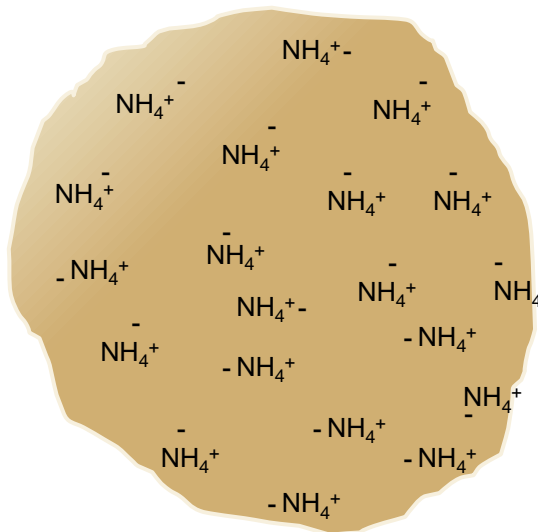


posiciones de intercambio no disponibles a pH 5.5

+ acetato de amonio (NH_4^+OAc) pH=7



El aumento del pH "crea" nuevas posiciones de intercambio

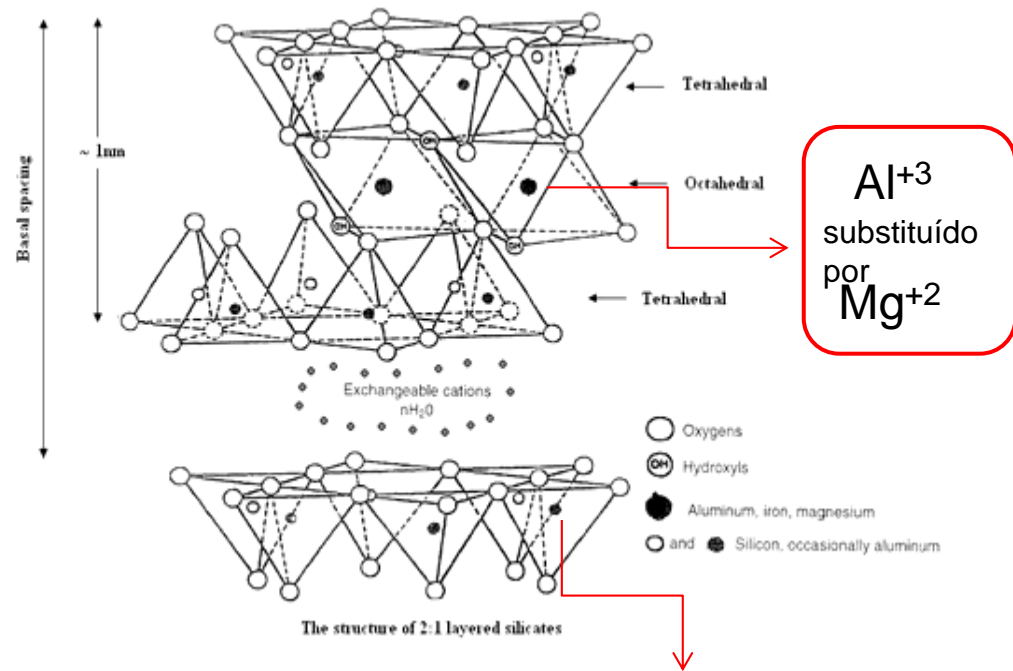


pH=7.0

la CIC medida a pH 7 no es representativa de la realidad. Por eso se determina la CIC efectiva (CIC_e) estimada al pH del suelo.

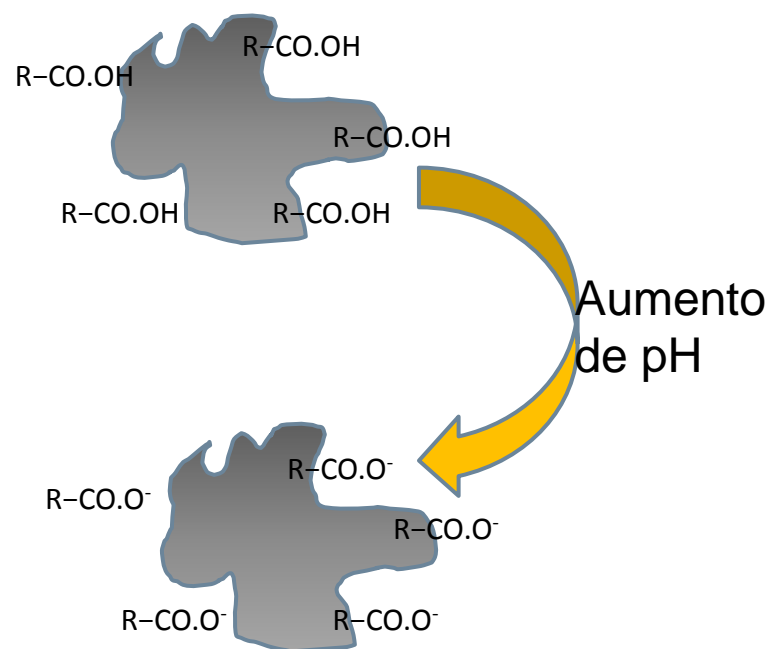
Cargas eléctricas en los suelos

- Permanentes
 - ▣ Estructuras de arcillas



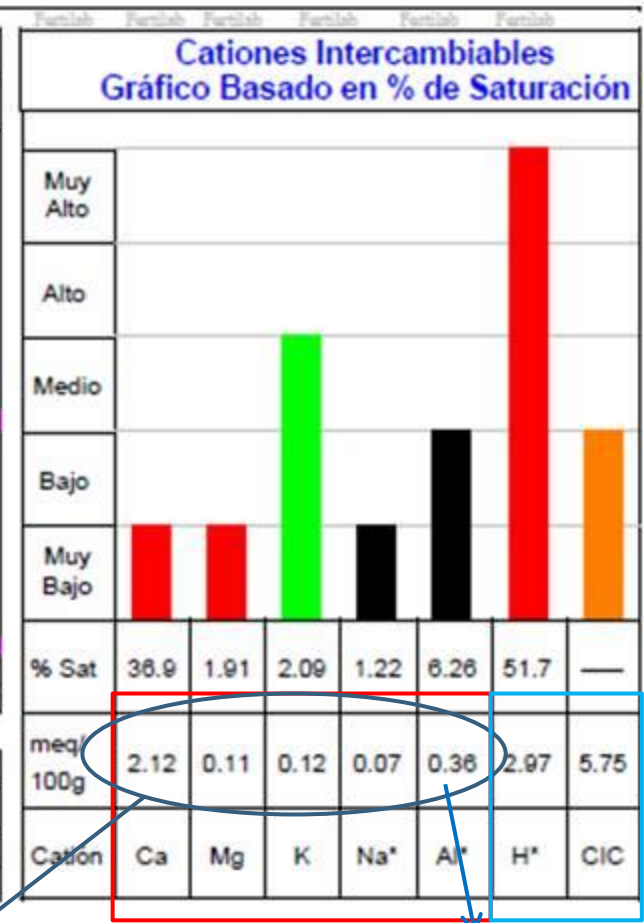
Cargas eléctricas en los suelos

- Variables
 - ▣ Dependen del pH
 - ▣ Materia orgánica



Fertilidad del Suelo										
Det	Result	Unid	Muy Bajo	Bajo	Mod. Bajo	Mediano	Mod. Alto	Alto	Muy Alto	
MO	1.38	%	[Barra amarilla]							
N-Inorg.	4.16	ppm	[Barra naranja]							
P-Bray	23.7	ppm	[Barra verde]							
K	48.1	ppm	[Barra roja]							
Ca	424	ppm	[Barra roja]							
Mg	13.0	ppm	[Barra roja]							
Na *	15.7	ppm	[Barra negra]							
Fe	63.8	ppm	[Barra morada]							
Zn	0.49	ppm	[Barra naranja]							
Mn	12.7	ppm	[Barra verde]							
Cu	0.33	ppm	[Barra naranja]							
B	0.11	ppm	[Barra roja]							
Al *	32.8	ppm	[Barra roja]							
S	50.0	ppm	[Barra morada]							

* Es deseable que estos elementos tengan un bajo contenido



Relaciones entre cationes (basadas en me/100g)

Relación	Ca/K	Mg/K	Ca+Mg/K	Ca/Mg
Resultados	18.0	0.92	18.6	19.3
Interpretación	Alto	Muy Bajo	Bajo	Muy Alto

2.78 meq/100g = CICE $Al_{int} = \frac{0.36}{2.78} = 13\%$



$$\text{CaCO}_3(\text{t/ha}) = \frac{1.5 (\text{Al} - \text{PRS}) (\text{C I C E})}{100} \times f$$

Horquetas de Sarapiquí

Suelo : Typic Hapludult
 Cultivo : Pejibaye para palmito
 PRNT de la cal : 86% (determinada en laboratorio)
 SAR deseado : 25%

Análisis de suelos

pH	Ca	Mg	K	Al	CICE	Sat. Al
	----- cmol (+)/L -----					%
4.6	0.5	0.3	0.3	2.1	3.2	66

Recomendación de Cal

$$\text{CaCO}_3 (\text{t/ha}) = \frac{1.5 (66 - 25) 3.2}{100} \times \frac{100}{86} = 2.3$$

Datos de Chiapas

localidad	pH	K	Ca	Mg	Al	CICe	Al(%)
1	4.5	0.16	2.92	0.22	2.2	5.5	40
2	4.9	0.14	2.89	0.26	0.6	3.9	16
3	4.6	0.28	3.67	0.44	1.5	5.9	25
4	4.5	0.26	2.43	0.24	1.0	4.0	25
5	4.7	0.13	2.60	0.16	0.8	3.7	22
6	4.8	0.17	3.45	0.48	0.6	4.8	13
7	4.5	0.17	2.00	0.28	1.0	3.4	28
8	5.9	0.18	1.23	3.65	0.8	5.9	14
9	4.8	0.20	3.08	0.76	0.9	5.0	18

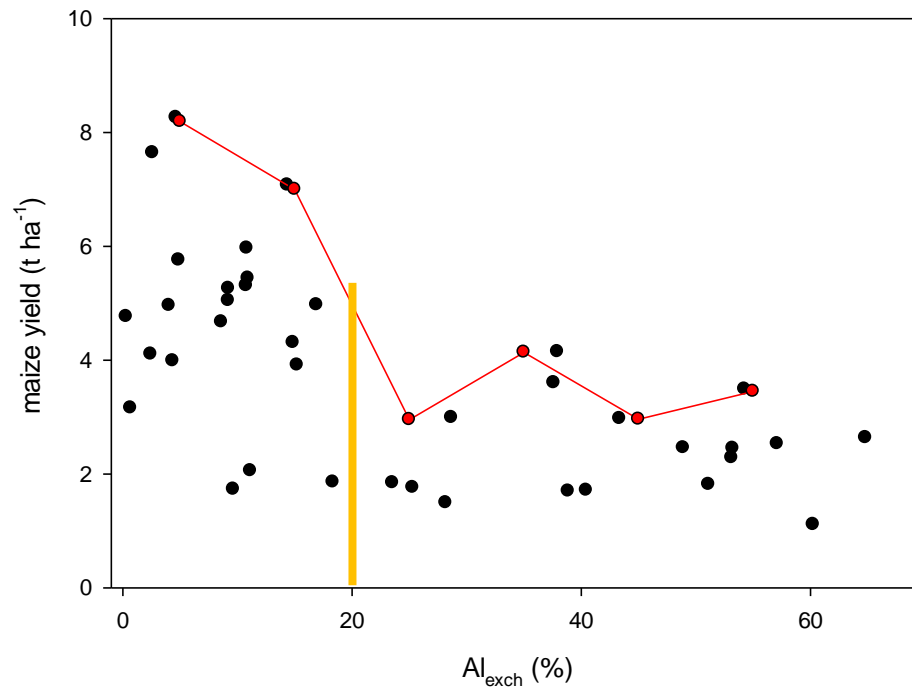
Enmienda	Origen	Eficiencia granulométrica (EG)	Equivalente químico (EQ)	Poder relativo de neutralización (PRNT)
Cal agrícola	Hidalgo	98.9	104.3	103
Cal agrícola	Jalisco	97.8	99.6	97
Cal dolomítica	Puebla	67.8	66.8	45
Cal agrícola	Puebla	59.1	90.5	53
Cal agrícola	Chiapas	95.5	0	0

Estimaciones usando la fórmula

localidad	Al _{int} (%)	Cal agrícola de Hidalgo	Cal agrícola de Jalisco	Cal dolomítica de Puebla	Cal agrícola de Puebla
		t enmienda ha ⁻¹			
1	40	1.65	1.75	3.78	3.15
2	16	0	0	0	0
3	25	0.44	0.47	1.00	0.84
4	25	0.29	0.31	0.67	0.56
5	22	0.10	0.10	0.22	0.19
6	13	0	0	0	0
7	28	0.39	0.42	0.90	0.75
8	14	0	0	0	0
9	18	0	0	0	0
PRNT		103	97	45	54

Efectos de Al en maíz

□ Resultados de La Frailesca



- Valor crítico de Al_{int} (%) ~20%
- Se necesita más información

NuMaSS

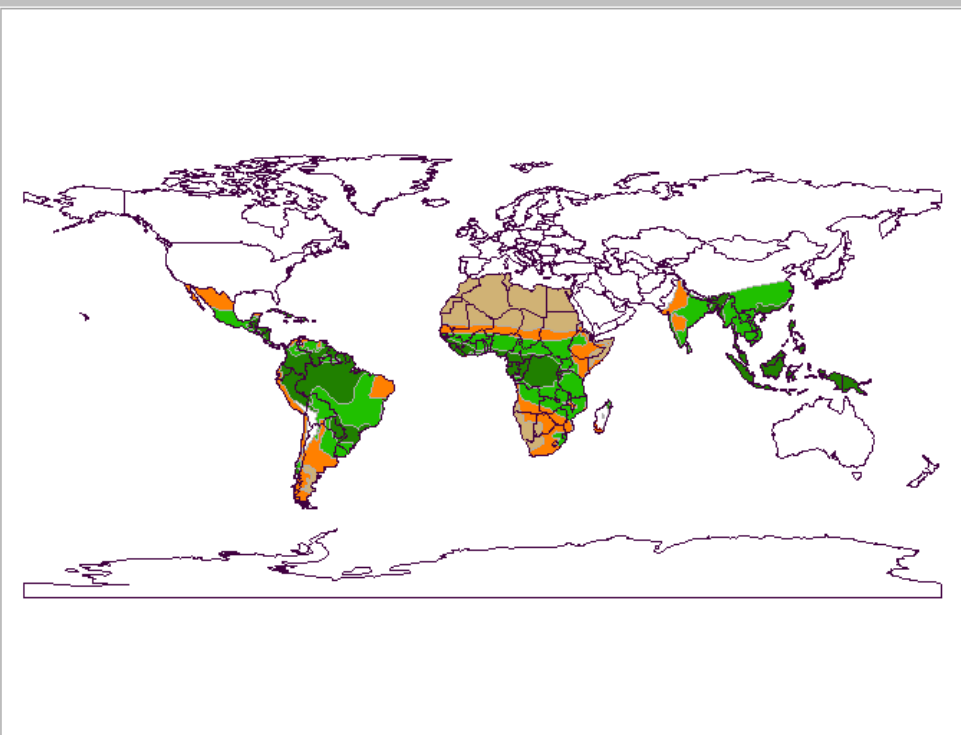
- Sistema experto para manejar N, P, y acidez
- Nutrient Management Support System
- Evaluado en noreste de México
- <http://intdss.soil.ncsu.edu/>

NuMaSS - Nutrient Management Support System

File Program Options Help Print Run Diagnosis Run Prediction Run Economics

Geography Diagnosis Prediction Economics Results

Where are you growing crops?
Region: Central America
Country: Mexico
Agricultural Area: wet/dry



Select Pan Full Extent Zoom In Zoom

Version 2.2 12/11/2007

The image shows a screenshot of the NuMaSS software interface. At the top, the title bar reads "NuMaSS - Nutrient Management Support System". Below it is a menu bar with "File", "Program", "Options", and "Help". To the right of the menu bar are buttons for "Print", "Run Diagnosis", "Run Prediction", and "Run Economics". Below the menu bar is a sub-menu bar with "Geography", "Diagnosis", "Prediction", "Economics", and "Results". The "Geography" tab is selected. The main area contains a world map with several regions highlighted in green and orange. To the right of the map is a form titled "Where are you growing crops?" with three dropdown menus: "Region" set to "Central America", "Country" set to "Mexico", and "Agricultural Area" set to "wet/dry". Below the map is a toolbar with icons for "Select", "Pan", "Full Extent", "Zoom In", and "Zoom". At the bottom of the window, the status bar shows "Version 2.2" and "12/11/2007".

NuMaSS - Nutrient Management Support System

File **Program** Options Help

Print Run Diagnosis **Run Prediction** Run Economics

Geography **Diagnosis** Prediction Economics Results

Intended Crop Previous Cropping **Soils** Plant

Select the Soil Order:
 entisol Soil Order Info. *der Info.*

Use your site specific soil data
 Use soil pedon data
 Do not have soil data

Soil Chemical Property Info. *Info.*
 Soil Physical Property Info. *Info.*

K	<input type="text" value="0.20"/>	cmol/kg (meq/100g)	P	<input type="text"/>	mg/l
Ca	<input type="text" value="3.08"/>	cmol/kg (meq/100g)	Choose one:		
Mg	<input type="text" value="0.76"/>	cmol/kg (meq/100g)	<input checked="" type="radio"/> Clay	<input type="text" value="16.00"/>	%
Al	<input type="text" value="0.90"/>	cmol/kg (meq/100g)	<input type="radio"/> Textural Class		
ECEC	<input type="text" value="5.00"/>	cmol/kg (meq/100g)	BD	<input type="text" value="1.35"/>	g / cm ³ <input type="checkbox"/> 1.44
pH (H ₂ O)	<input type="text" value="4.80"/>		Choose one:		
			<input type="radio"/> OM		
			<input checked="" type="radio"/> C	<input type="text" value="0.80"/>	%
			<input type="radio"/> Total N		

Version 2.2 12/11/2007

NuMaSS - Nutrient Management Support System

File **Program** Options Help Print Run Diagnosis Run Prediction Run Economics

Geography **Diagnosis** Prediction Economics Results

Intended Crop Previous Cropping Soils Plant

Intended Crop
maize

Variety / Cultivar / Type:
[Empty dropdown]

Hybrid Type:
 Hybrid
 Non-Hybrid
 Do Not Know

Target Crop Grain Yield:
5000.00 Kg / ha 3326.5

Critical AI Saturation:
20.00 % 30

Crop Cycle Duration
[Empty dropdown] Months

Do you know how much stover was produced?
 Yes
 No

Target Crop %N - Grain:
[Empty dropdown] 1.24

Version 2.2 12/11/2007

NuMaSS - Nutrient Management Support System

File Program Options Help Print Run Diagnosis Run Prediction Run Economics

Geography Diagnosis Prediction Economics Results

Organic Application Lime Application Fertilizer Application

Depth of Incorporation of lime (15cm is the usual value): 10.00

The liming material is: ground limestone

If you know the Ca and Mg Content of the lime, the system can evaluate the Ca-Mg balance for the soil after liming. Do you want a report on soil Ca-Mg balance after liming?

Yes
 No

Do you know the CaCO₃ equivalence and particle size distribution of your lime material? If the answer is no then default values for pure CaCO₃ will be used.

Yes
 No

Choose which data to provide:

The effective CaCO₃ content of the lime (this is the product of the particle size distribution and CaCO₃ equivalence of the lime).
 The particle size distribution and the CaCO₃ equivalence of the lime (the system will then calculate the effective CaCO₃ content of the lime).

Value of the effective CaCO₃ content of the lime: 1.03
(Values should range from 0 to 1.8)

Version 2.2 12/11/2007

NuMaSS - Nutrient Management Support System

File **Program** Options Help Print Run Diagnosis Run Prediction Run Economics

Geography Diagnosis Prediction Economics **Results**

Diagnosis **Prediction** Economics

Summary Values Phosphorus Report Nitrogen Report Acidity Report

Prediction

Results of Prediction Calculation

Phosphorus
No Phosphorus prediction was made because of insufficient data. Data missing: Soil P

Nitrogen
The amount of N needed cannot be calculated because no nitrogen fertilizer efficiency value was selected. Please go back to Prediction/Fertilizer Application and select a value.

Acidity:
No lime is recommended..

Warnings

NO PHOSPHORUS PREDICTION IS PROVIDED
In order for NuMaSS to estimate a phosphorus requirement, Soil P must be provided in the Diagnosis section

There are no Nitrogen Prediction Warnings...

There are no Acidity Prediction Warnings...

Version 2.2 12/11/2007

NuMaSS

- Es necesario evaluarlo en condiciones de campo

Estimaciones usando NuMaSS

localidad	Al _{int} (%)	Cal agrícola de Hidalgo	Cal agrícola de Jalisco	Cal dolomítica de Puebla	Cal agrícola de Puebla
		t enmienda ha ⁻¹			
1	40	1.25	1.25	3.0	2.5
2	16	0	0	0	0
3	25	0.4	0.4	0.75	0.75
4	25	0.2	0.2	0.5	0.4
5	22	0.1	0.1	0.2	0.1
6	13	0	0	0	0
7	28	0.4	0.4	0.75	0.75
8	14	0	0	0	0
9	18	0	0	0	0
PRNT		103	97	45	54

Principales Efectos del Encalado

- Neutralización de Al y Mn
- Aporte de Ca y Mg
- Mayor disponibilidad de P y Mo
- Favorece mineralización de M.O.
- Promueve fijación simbiótica de N
- Mejora propiedades físicas
- Estimula desarrollo de raíces

Respuestas al encalado

(a)



(b)

Figura 41. Respuesta del sorgo a la aplicación de cal dolomita, sin cal (a) y con cal (b) en un Acrisol plántico de la sabana de Huimanguillo, Tabasco.

Respuestas al encalado

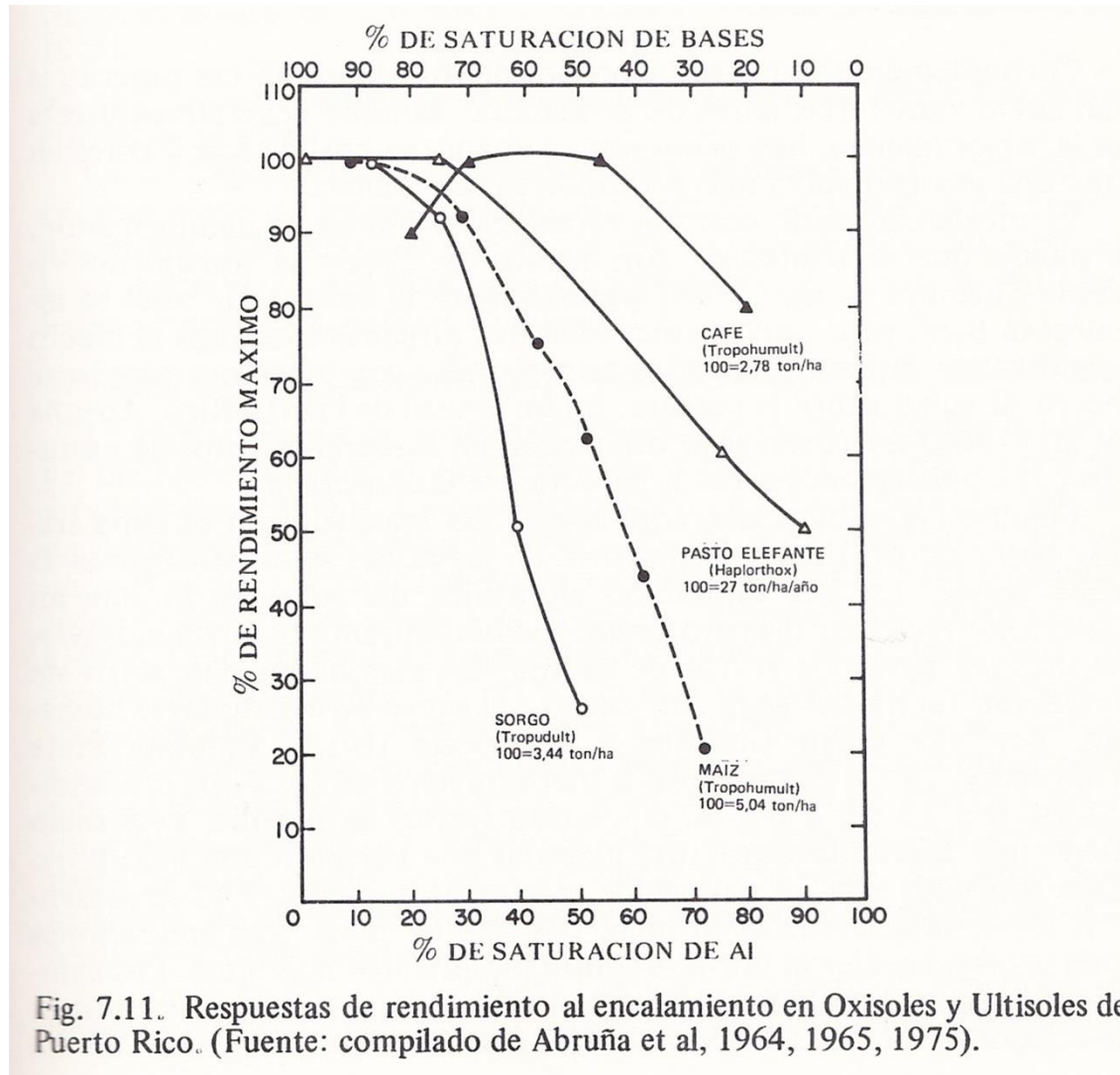
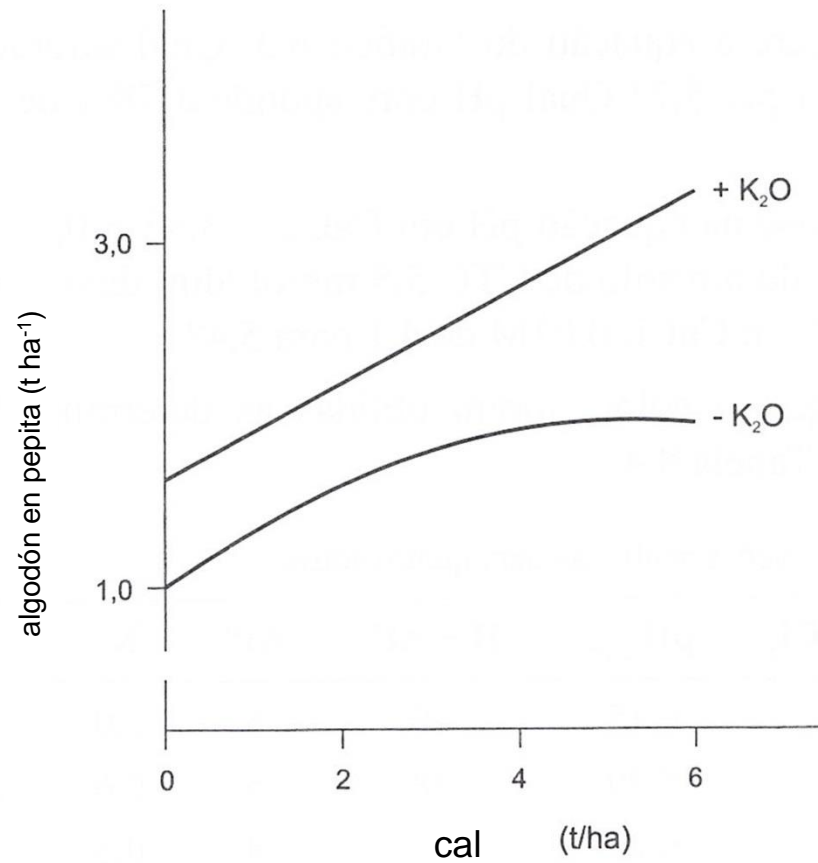


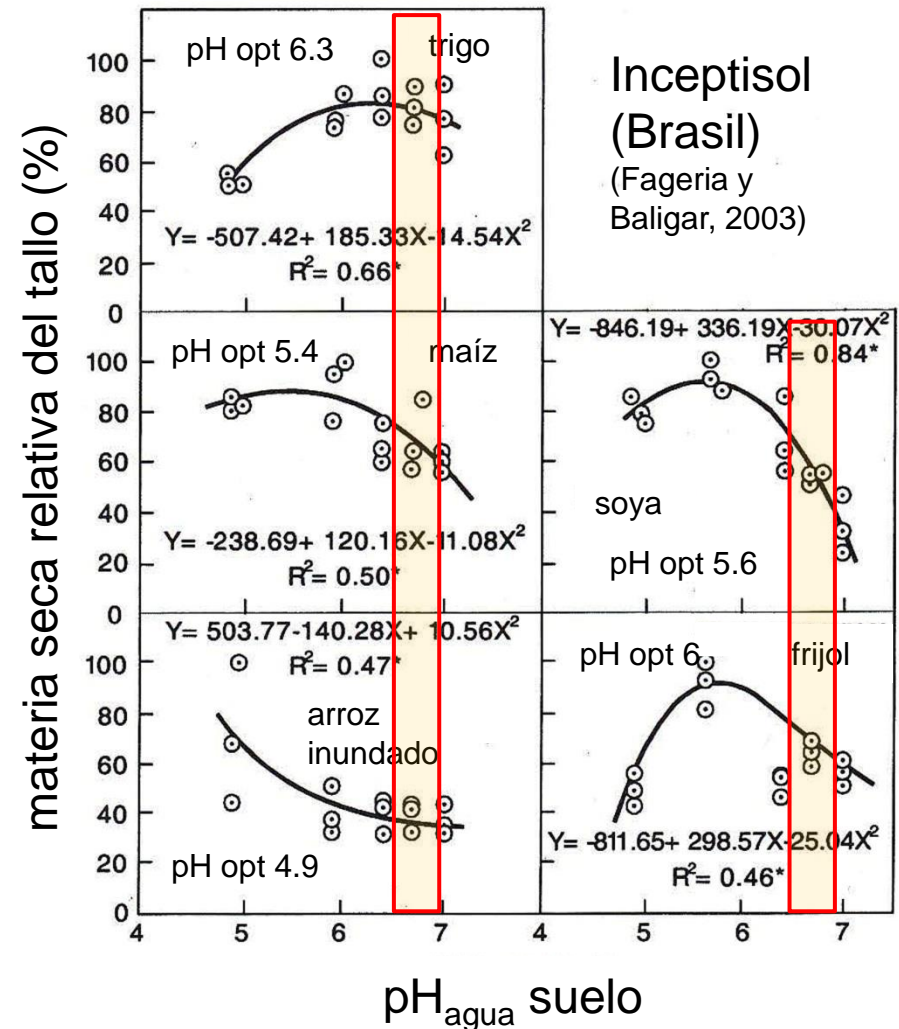
Fig. 7.11. Respuestas de rendimiento al encalamiento en Oxisoles y Ultisoles de Puerto Rico. (Fuente: compilado de Abruña et al, 1964, 1965, 1975).

Interacciones



Sobreencalado

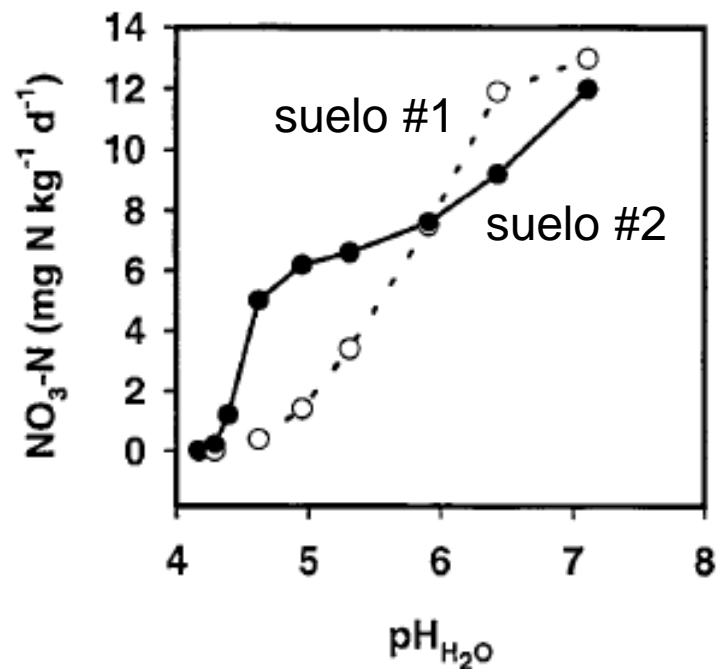
- Llevar el pH del suelo a ~7
 - Influencia de experiencias en suelos del Oeste Medio de EE.UU.
 - Efectos adversos
 - Menor disponibilidad de P, B, Zn, Cu, Fe y Mn
 - Deterioro de la estructura



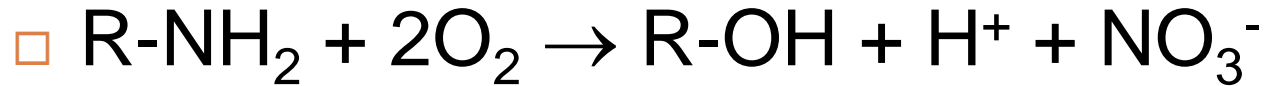
Ventajas de no elevar mucho el pH

□ N

- Nitrificación se acelera con mayor pH
- $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$
- Condiciones relativamente ácidas disminuyen peligro de pérdidas de N



N



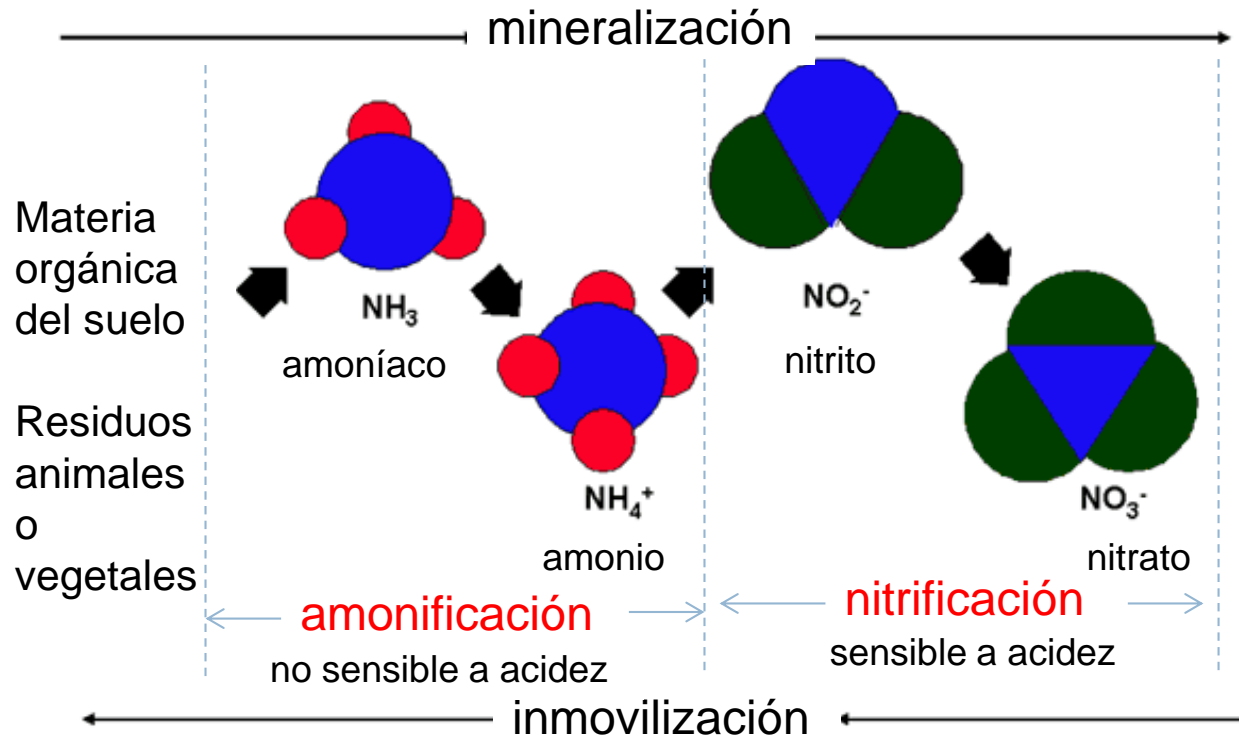
N orgánico

Amonificación ($\text{R-NH}_2 \rightarrow \text{NH}_4^+$) No afectada por acidez en rango normal de suelos

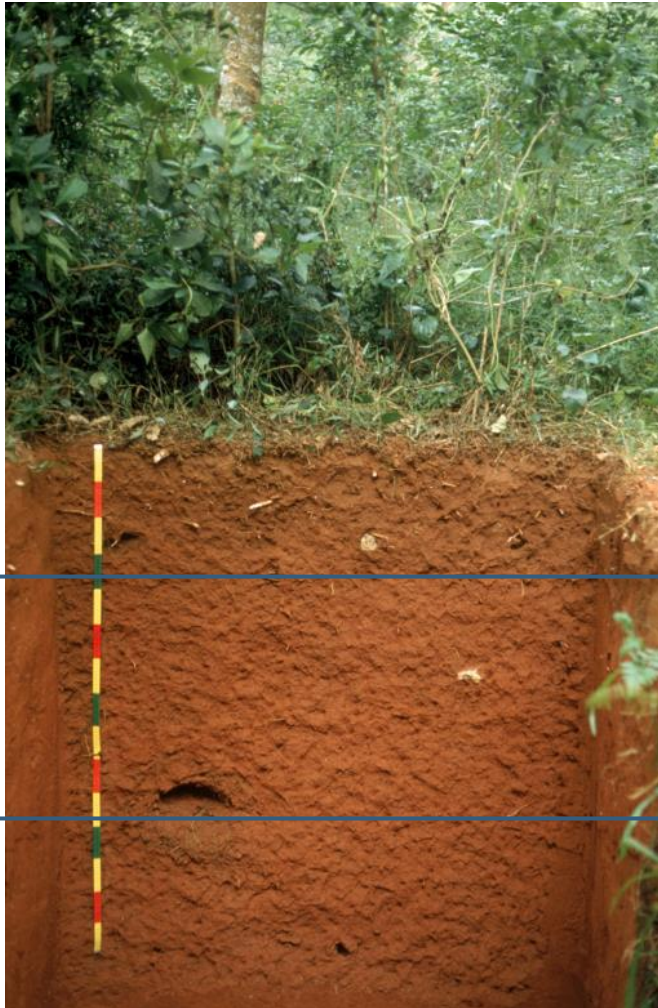
Nitrificación ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$) sensible a acidez

Mineralización e inmovilización

Created by J. Strock
University of Minnesota

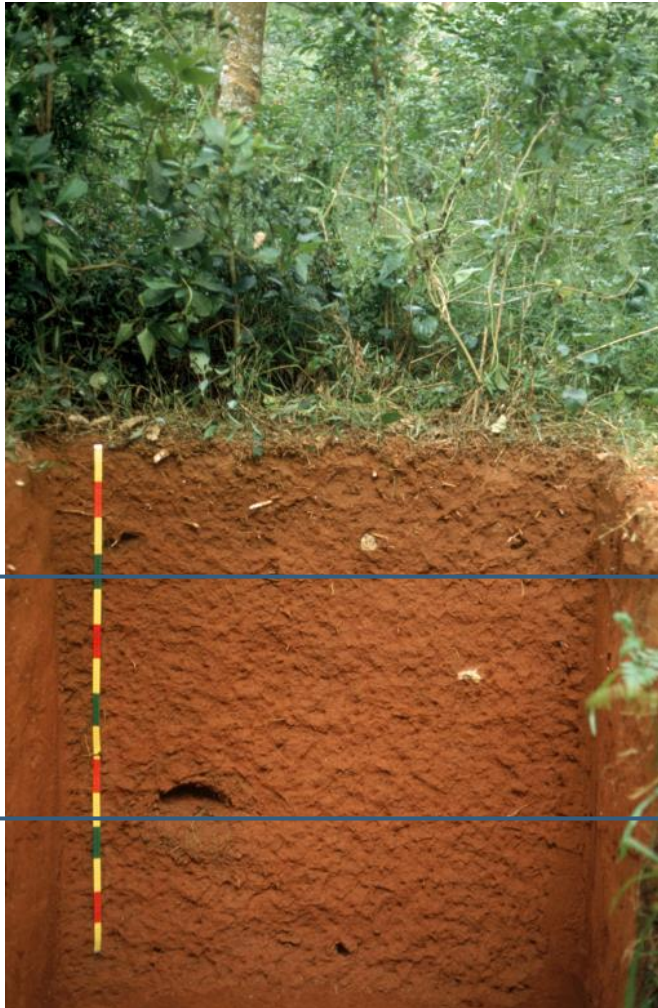


Acidez sub-superficial



- Síntomas
 - ▣ Falta de agua
 - ▣ Falta de nutrientes

Acidez sub-superficial



- Difícil de tratar
 - ▣ La cal no se mueve fácilmente en el suelo
- Necesidad de fuente de Ca más soluble que la cal
- El yeso es la solución al problema
 - ▣ Solubilidad de yeso (2.2 g/L)
>>> solubilidad de cal (0.014 g/L)
 - (x 157)

Subsuelos ácidos

- Origen natural o antropogénico
- Bajo contenidos de cationes básicos (Ca, Mg, K)
- Frecuentemente con niveles tóxicos de Al^{3+}

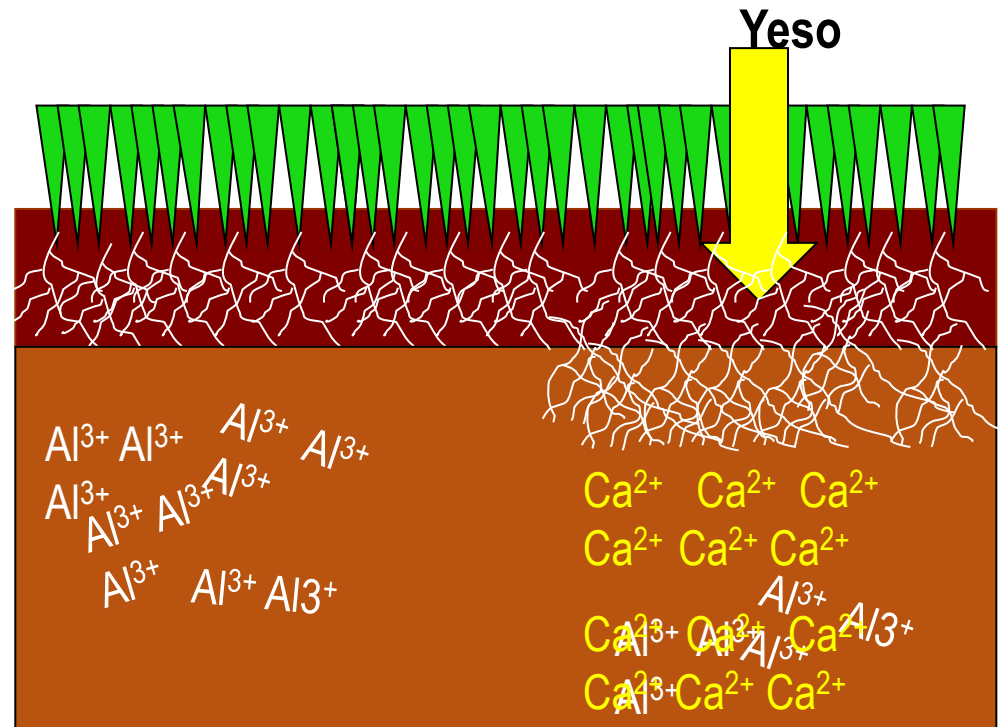
Al intercambiable (%) en capa arable y subsuelo – La Frailesca (Chiapas)

productor	capa arable (0-15 cm)	subsuelo (15-30 cm)
	Al _{int} (%)	
Pedro Castro Espinoza	44	23
Raquel Padilla Saldaña	40	26
Francisco Sánchez Velázquez	28	49
Rausel Gómez	27	22
Efraim Gomez Solís	25	32
Adrián Moreno Espinoza	16	29
Joaquin Altamirano Domínguez		50

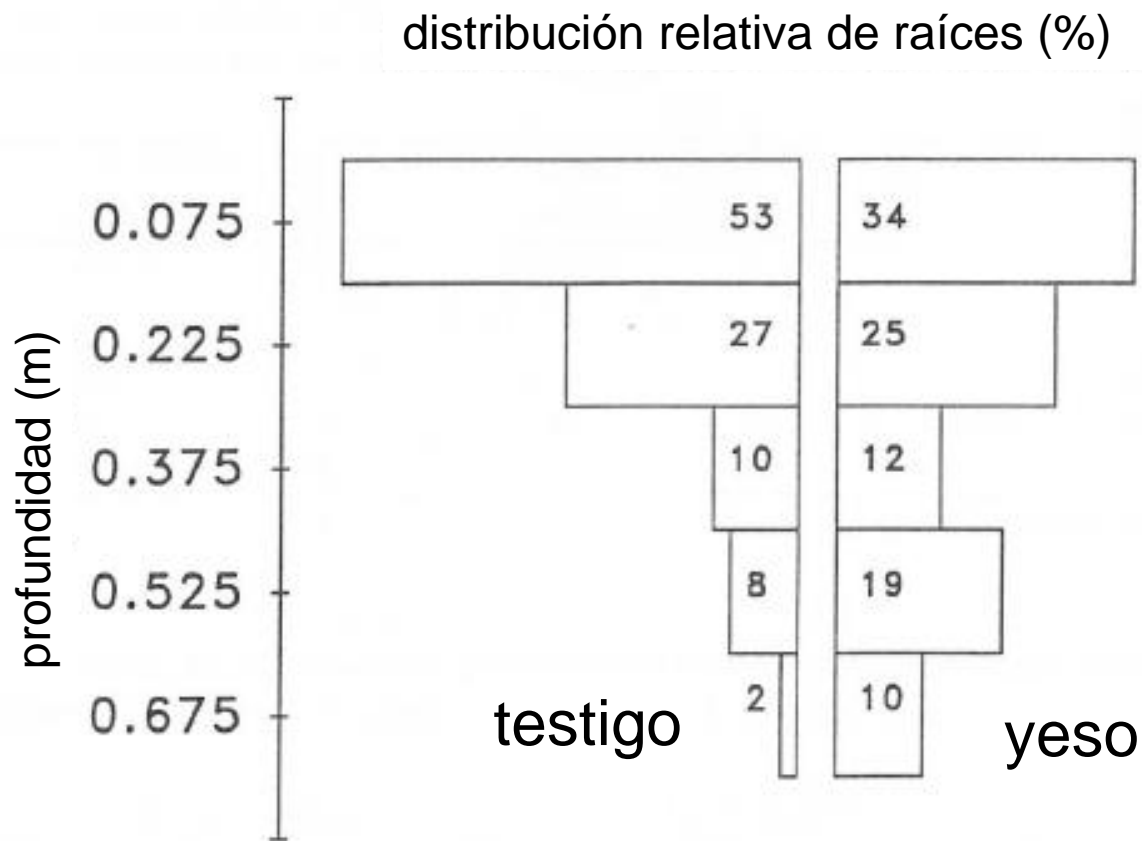
7 productores en 23 muestreados = 30%

Efectos del yeso en el subsuelo

- Más Ca^{2+}
- Menos Al^{3+}
 - Más raíces
 - Absorción de agua
 - Absorción de nutrientes



Efecto del yeso en raíces



Absorción de N

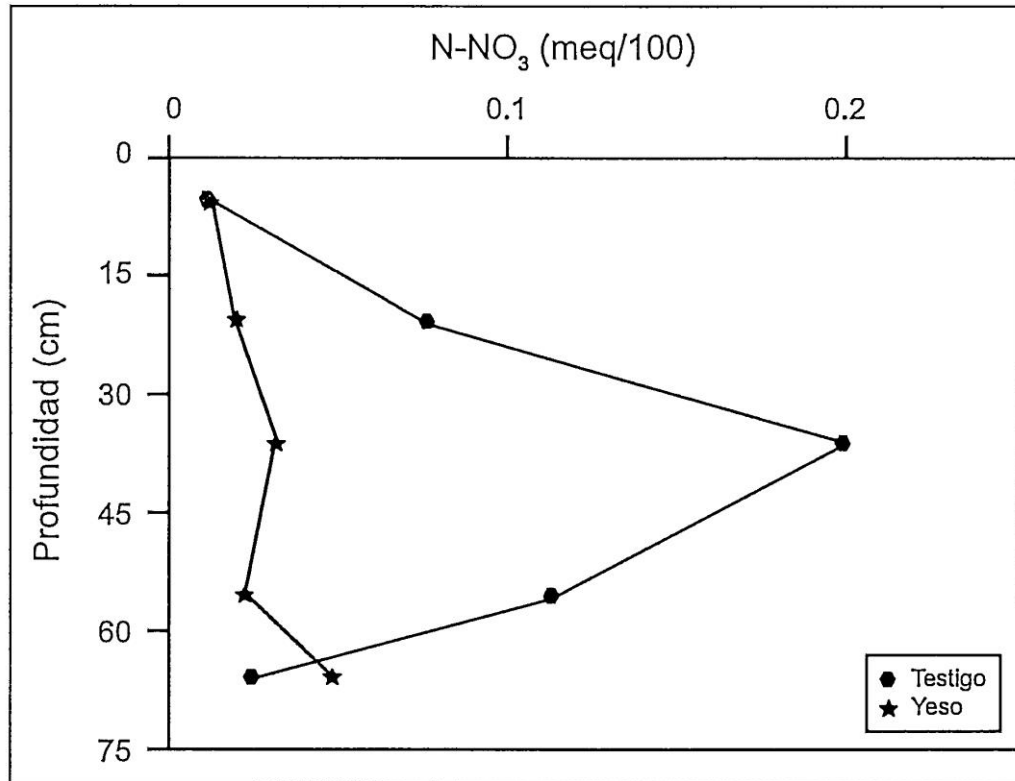


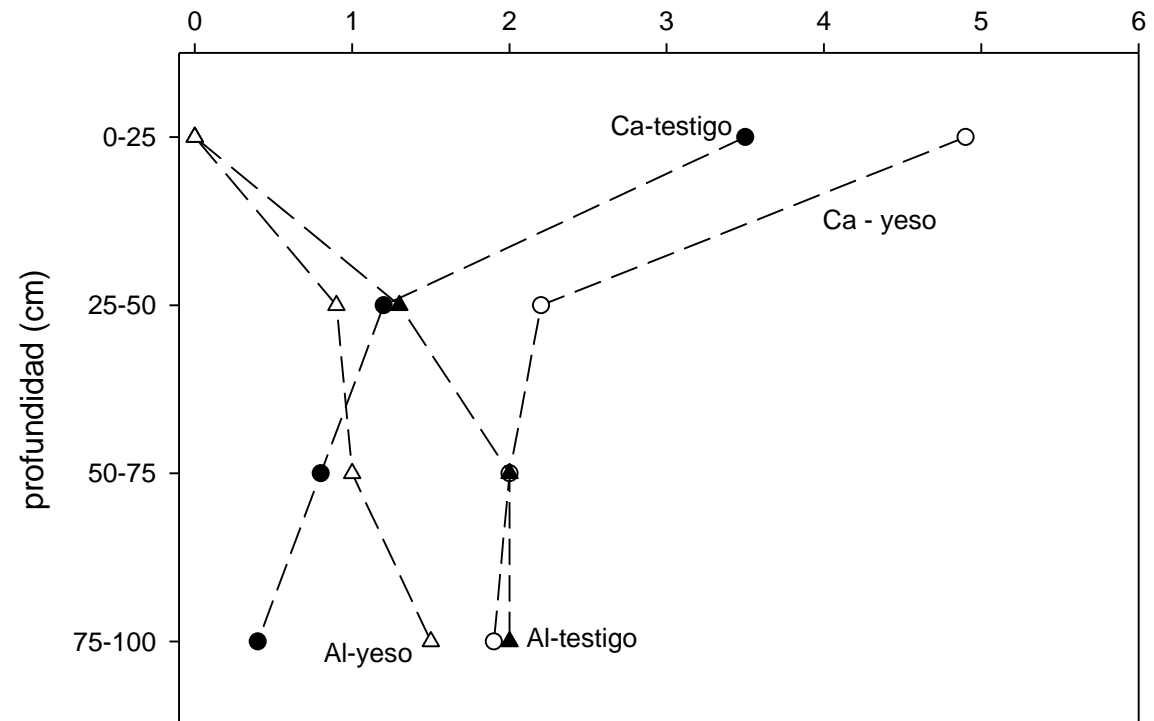
Figura 11. La aplicación de yeso permitió un mejor crecimiento radicular del maíz que utilizó adecuadamente el NO₃⁻ presente en el suelo (Mala-volta, 1992).

Residualidad del yeso

- 10 t yeso/ha, aplicadas en 1982
- Suelo analizado en 1997

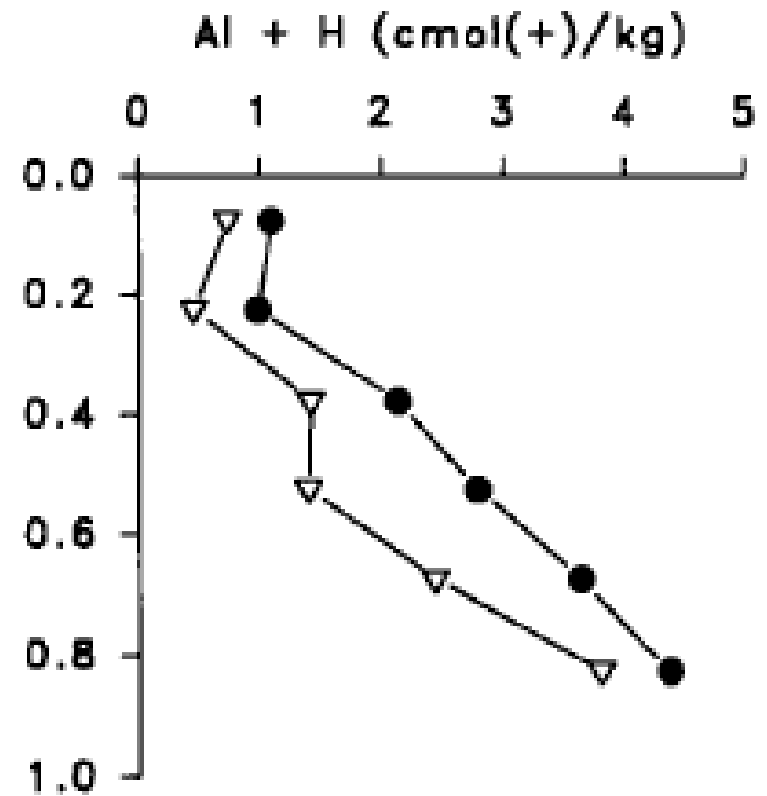
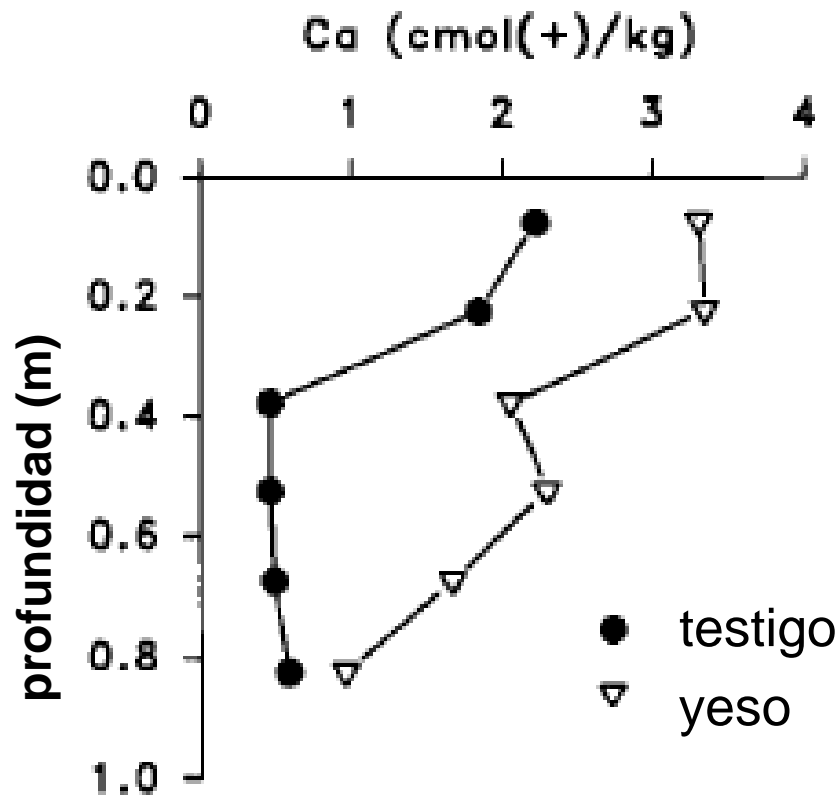
Tratamiento (1982)	Rendimiento (t/ha)		
	Alfalfa (1982-1989)	Maíz (1997)	Alfalfa (1998)
Testigo	5.29	6.59	5.33
10 t yeso/ha	7.51 (+ 42%)	8.50 (+ 29%)	9.09 (+ 71%)

meq/100 g



Ultisol, Georgia

Efecto del yeso en Al y Ca intercambiables

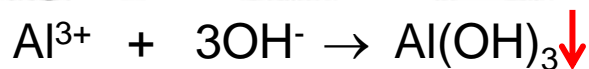
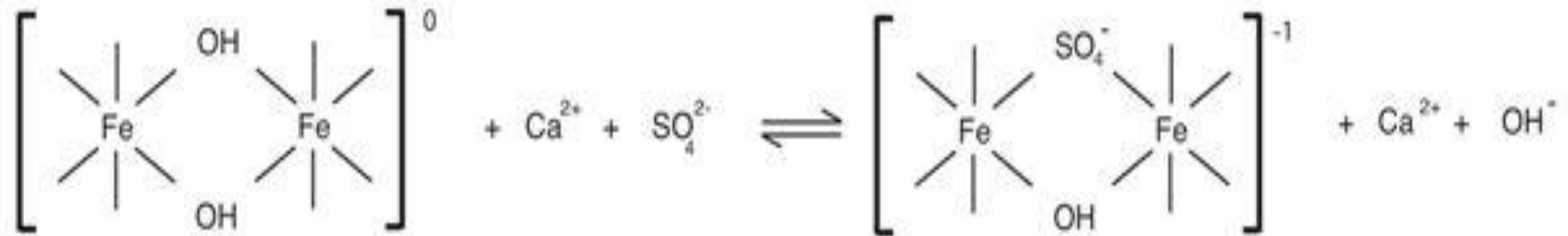


Mecanismos implicados en la desintoxicación de Al^{3+}

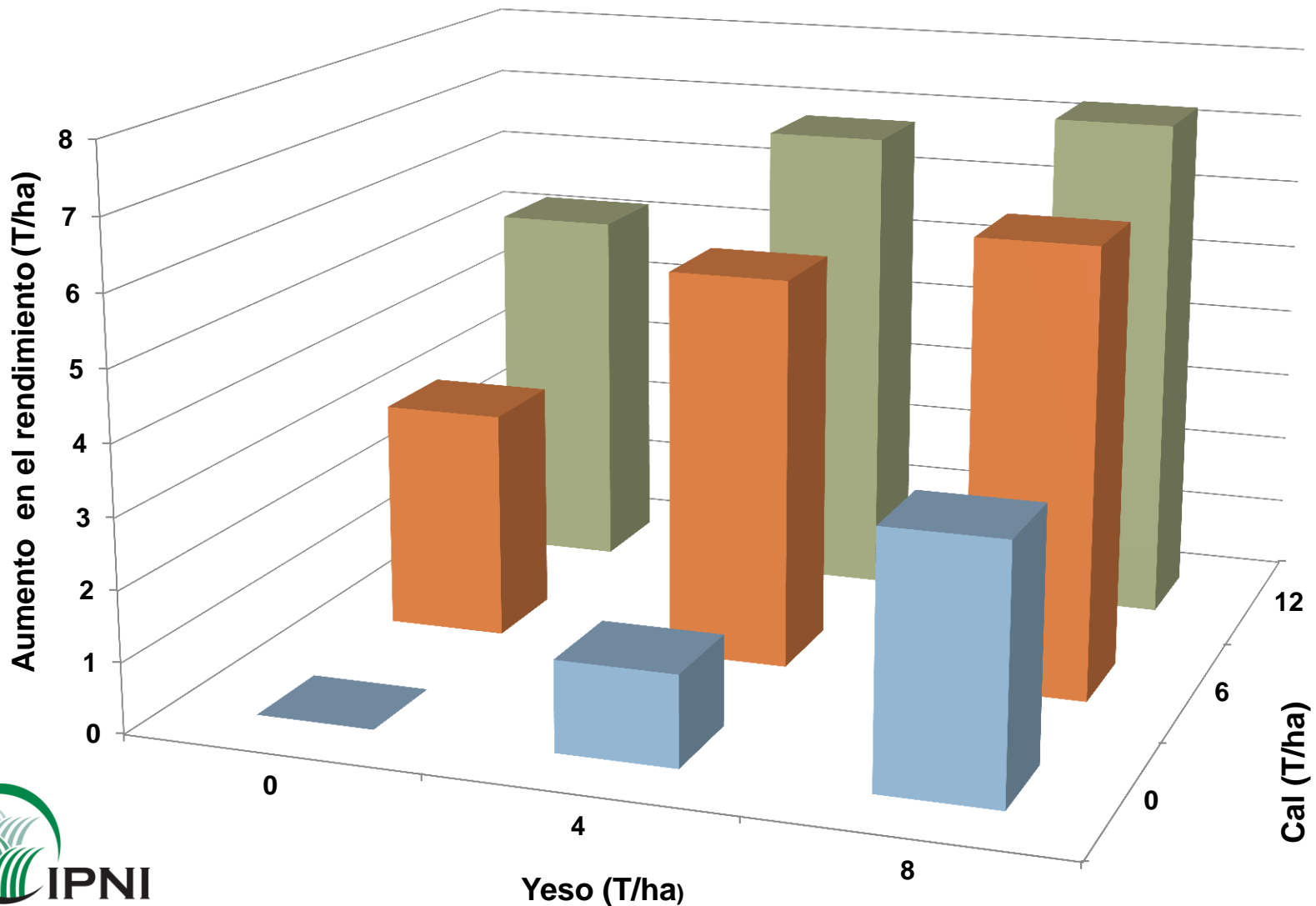
- Formación del par iónico AlSO_4^+



- Efecto de auto-encalado (Self Liming Effect)



Respuestas de yeso y cal en maíz



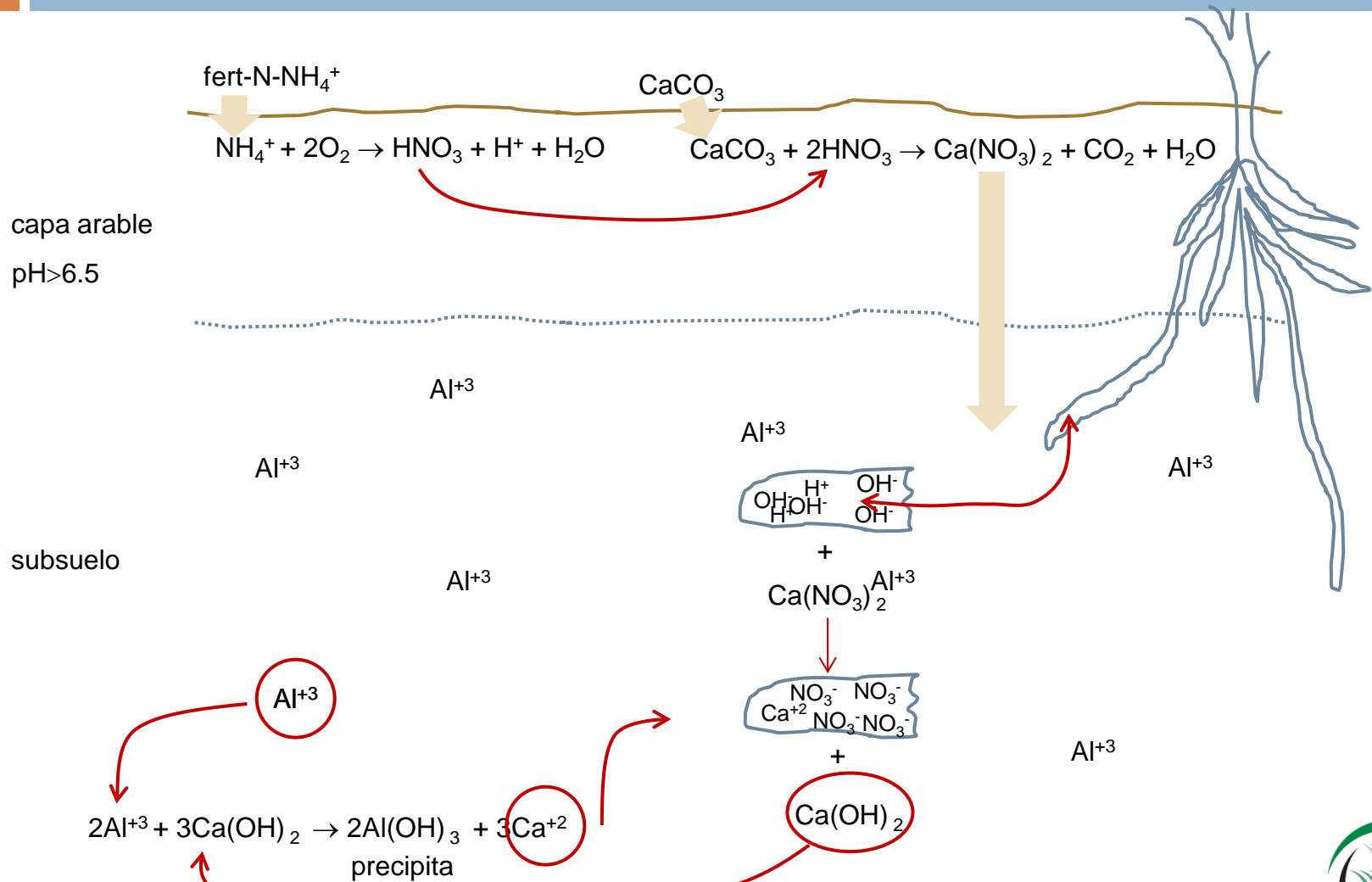
Precauciones al usar yeso

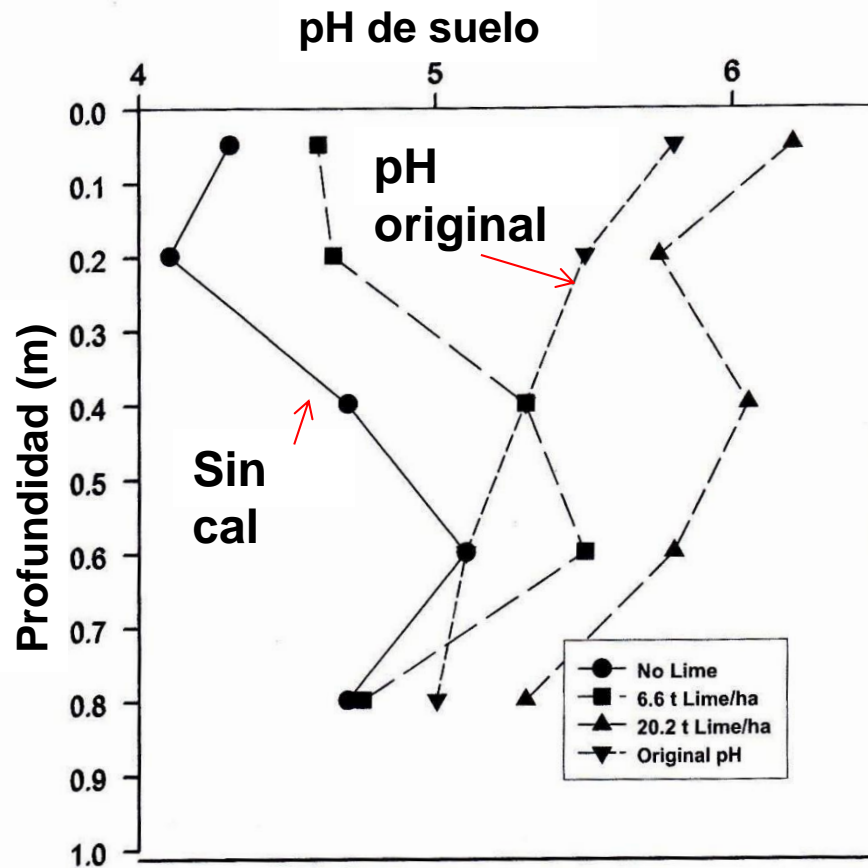
- Lavado de Mg y/o K
 - ▣ Dosis de yeso $> 5 \text{ t ha}^{-1}$
 - ▣ Suelos arenosos
- Precauciones
 - ▣ Cuidado con la dosis a aplicar
 - ▣ Aplicar Mg después que el yeso penetró al suelo

Estrategias alternativas para corregir la acidez del subsuelo

- Cal + fertilizantes nitrogenados amoniacales
- Ligandos orgánicos
- MO como cal

Cal + fertilizantes nitrogenados amoniacales



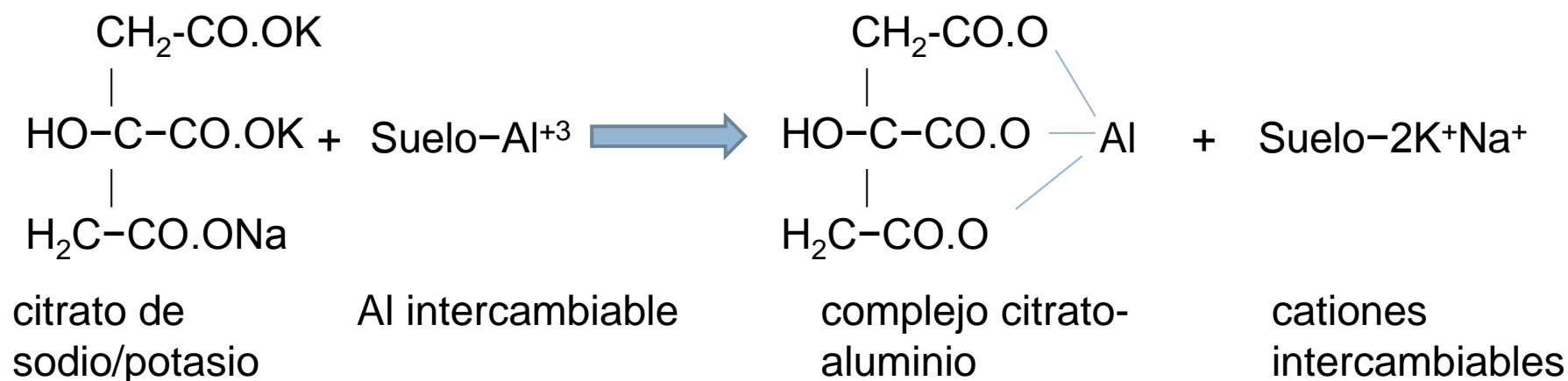


- 900 kg N/ha/año como nitrato de amonio
- durante 4 años

Figure 1 Effect of rates of calcitic lime on soil profile acidity after four years under a Coastal bermudagrass sod fertilized with ammonium nitrate at an annual N rate of 900 kg/ha. Single lime applications were made at the beginning of the experiment (from Adams et al. 1967).

Ligandos orgánicos

- se mueven en el subsuelo
- abundan en estiércol, especialmente de aves
- forman complejos y desintoxican Al



Grado de acidificación con estiércol o residuos

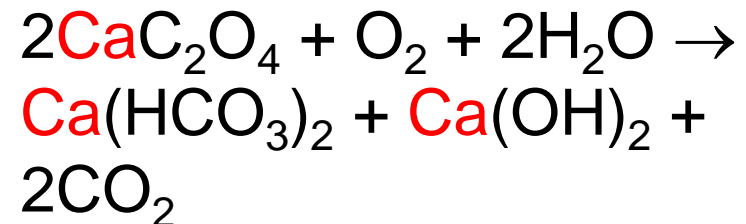
Depende del balance entre contenido de N, S, y cationes básicos

descenso de pH

- Residuos con mayor proporción de N y/o S
- N
mineralizado + nitrificado
- S
oxidación:
$$\text{R-CH}_2\text{-SH} + 2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{R-CH}_3\text{O}$$

ascenso de pH

- Residuos con mayor proporción de cationes básicos



Agricultura de Conservación

- Materia orgánica disuelta
 - ▣ Ligandos orgánicos de bajo peso molecular
 - ▣ Forman complejos con cationes
 - Al^{+3} , Ca^{+2} , Mg^{+2}
 - Corrigen toxicidad del Al^{+3} en capa arable
 - Ayudan a corregir acidez en subsuelo

pH en suelo con Labranza Cero (ZT) o Convencional (CT), con rotación (R) o monocultivo (M), con retención de residuos (+) o removidos (-), después de 14 años -El Batán

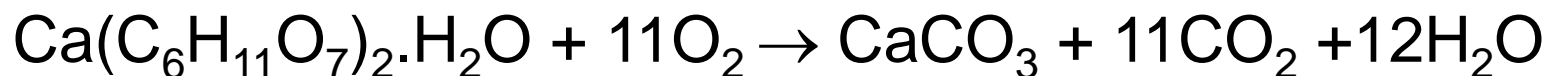
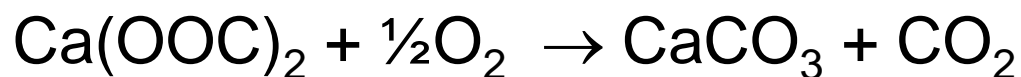
Tratamiento	pH en las diferentes capas de suelo					
	Maíz			Trigo		
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm
ZTM+r	6.23	6.31	6.60	6.05	6.50	6.60
ZTR+r	6.04	6.30	6.65	6.05	6.50	6.45
CTM+r	6.21	6.17	6.65	6.16	6.50	6.38
CTR+r	6.19	6.41	6.66	6.15	6.55	6.48
ZTM-r	5.27	6.10	6.40	5.85	6.55	6.72
ZTR-r	5.74	6.41	6.70	5.29	6.40	6.34
CTM-r	6.00	6.12	6.50	6.00	6.60	6.54
CTR-r	6.16	6.30	6.65	6.05	6.50	6.36
DMS	0.37	0.34	0.23	0.26	0.16	0.24

Al nivel $p < 0.05$ basado en el agrupamiento de diferencias por mínimos cuadrados (DMS)



MO como cal

- La mayoría del Ca en las plantas está en forma de oxalato o pectato
- Cuando el material vegetal se descompone se libera CaCO_3



- El efecto del encalado debe ser equilibrado por el efecto de la acidificación del N en los residuos vegetales

200 t hojas ha⁻¹ / pH inicial 4.0

Material	g N kg ⁻¹	Ca+Mg+K (mmol _c kg ⁻¹)	pH máximo	Días para el pH máximo	pH final (574 d)
algodón	26.9	2944	7.88	92	7.60
alfalfa	32.4	1653	8.49	22	6.84
maíz	10.0	958	6.32	8	5.44
trigo	4.6	344	5.12	8	4.85
composta	7.1	1217	5.97	8	5.93

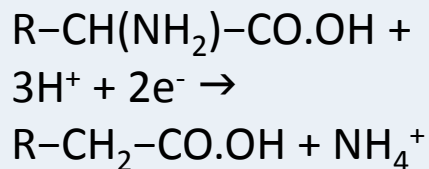
Dos tipos de efectos

- Corto plazo (elevación y descenso del pH)
 - ▣ Mineralización y nitrificación de N

- Largo plazo (elevación del pH)
 - ▣ Mineralización de compuestos conteniendo cationes básicos

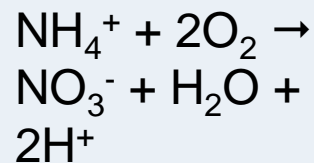
pH ↑

amonificación

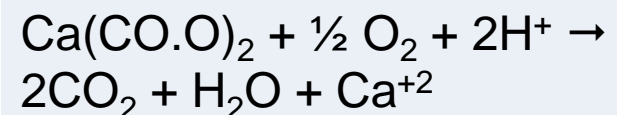


pH ↓

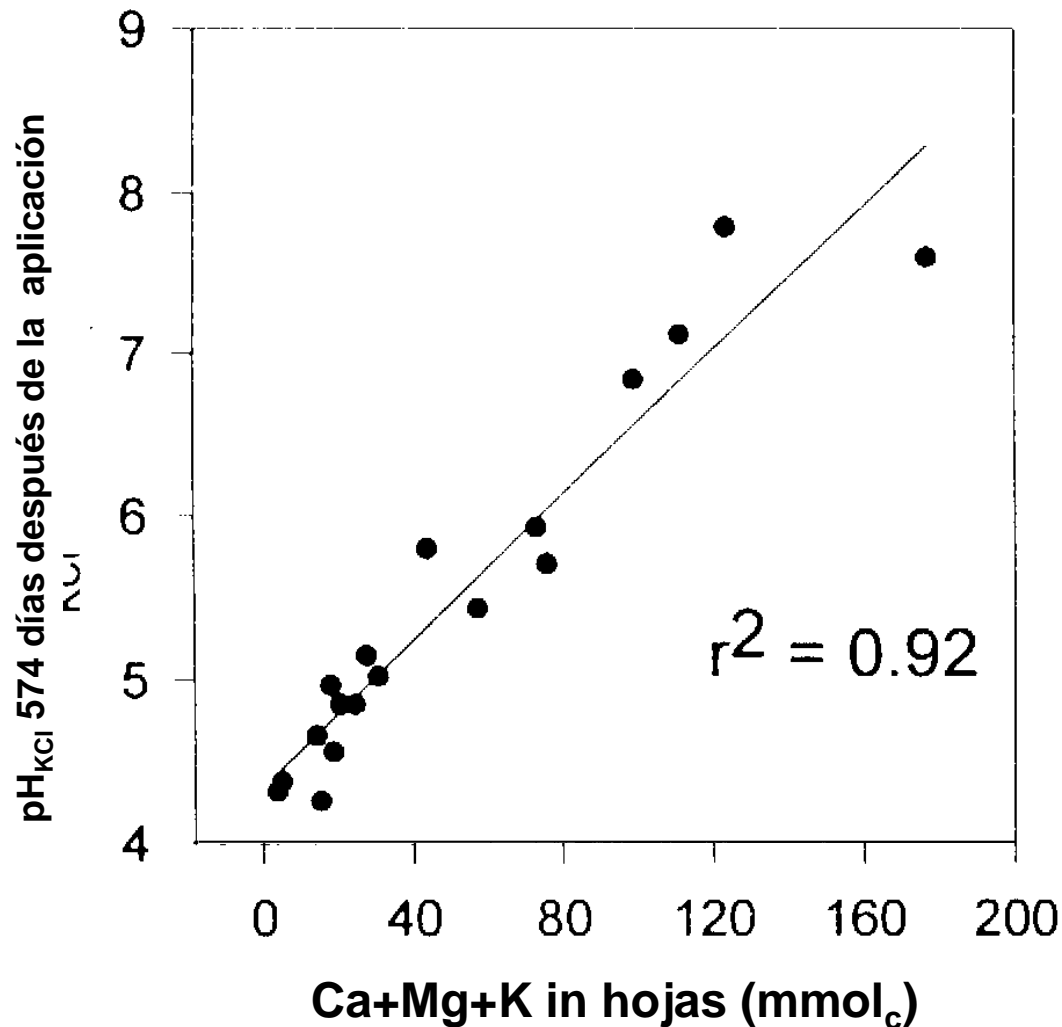
nitrificación



pH ↑



Efecto del contenido de cationes básicos en hojas sobre el pH del suelo



Resultados de Análisis de Suelos de Jalisco

Municipio	Localidad	Textura	pH - agua	Interpretación	Prof (cm)
Ameca	Paseo del Aire	Franco arenosa	6.86	Ligeramente ácido	
Mascota	El Refugio	Franco limosa	5.60	Moderadamente ácido	
Mirandillas	Potrero	Franco limosa	5.23	Moderadamente ácido	
Talpa	Talpa	Franco arenosa	4.47	Moderadamente ácido	
Jocotepec	La Mina	Franco limosa	6.37	Ligeramente ácido	
Tlajomulco	Cacaluta	Franco arenosa/arenoso franca	5.86	Moderadamente ácido	
Tlajomulco	La Cofradia	Franco arenosa	5.83	Moderadamente ácido	
Poncitlan	La Joya	Franco arenosa	5.26	Moderadamente ácido	
Poncitlan	El Centro	Franco arenosa	4.67	Moderadamente ácido	
Poncitlan	La Joya	Franco arenosa	4.63	Moderadamente ácido	
Poncitlan	La Joya	Franco arenosa	4.46	Moderadamente ácido	
Poncitlan	La Joya	Franco arenosa	4.56	Moderadamente ácido	
Poncitlan	La Joya	Franco arenosa	4.65	Moderadamente ácido	
Tlajomulco	Tlajomulco		4.90		
Tlajomulco	Tlajomulco		5.00		
Tlajomulco	La Cofradia	Franca	4.53	Fuertemente ácido	30
Tlajomulco	Cajilota	Franco arcillosa	5.00	Fuertemente ácido	30

Tres laboratorios

Variable	Lab #1	Lab #2	Lab #3
pH	1:2	1:2	1:1
Sol amortiguadora	---	SMP	Adams-Evans
Extracción de K, Ca, Mg, y Na	Mehlich 2	Acetato de amonio 1N pH7	Mehlich 3
Al intercambiable	---	N KCl	---

- Sólo dos resultados con datos sobre profundidad de muestreo
- 0-30 cm es un intervalo muy amplio
 - ▣ ¿cómo incorporar cal uniformemente en 30 cm de suelo?



- Suponiendo discos de 24" de diámetro (60 cm)
- Profundidad de incorporación máxima ~ 10 cm (~ 1/3 de profundidad de trabajo)

- En estas localidades se recomendó 2 t cal ha⁻¹

<u>Tlajomulco</u>	<u>Cacaluta</u>	Franco arenosa/arenoso franca	5.86	Moderadamente ácido	
<u>Tlajomulco</u>	<u>La Cofradia</u>	Franco arenosa	5.83	Moderadamente ácido	

- No se indicaron las razones

- En estas localidades se recomendó:

<u>Tlajomulco</u>	Tlajomulco		4.90	5.0 t cal ha ⁻¹	
<u>Tlajomulco</u>	Tlajomulco		5.00	6.5 t cal ha ⁻¹	

- Solución Adams-Evans


- Sólo dos resultados incluyen datos de Al
- Localidad La Cofradía

localidad	pH	K	Ca	Mg	Na	Al	ClCe	%Al
		cmol ₊ kg ⁻¹						
La Cofradia	4.53	0.8	2.51	0.57	0.06	0.4	4.34	9.2

- Recomendaciones de cal

formula	NuMaSS	laboratorio
0	0	3 t ha ⁻¹

Solución amortiguadora SMP



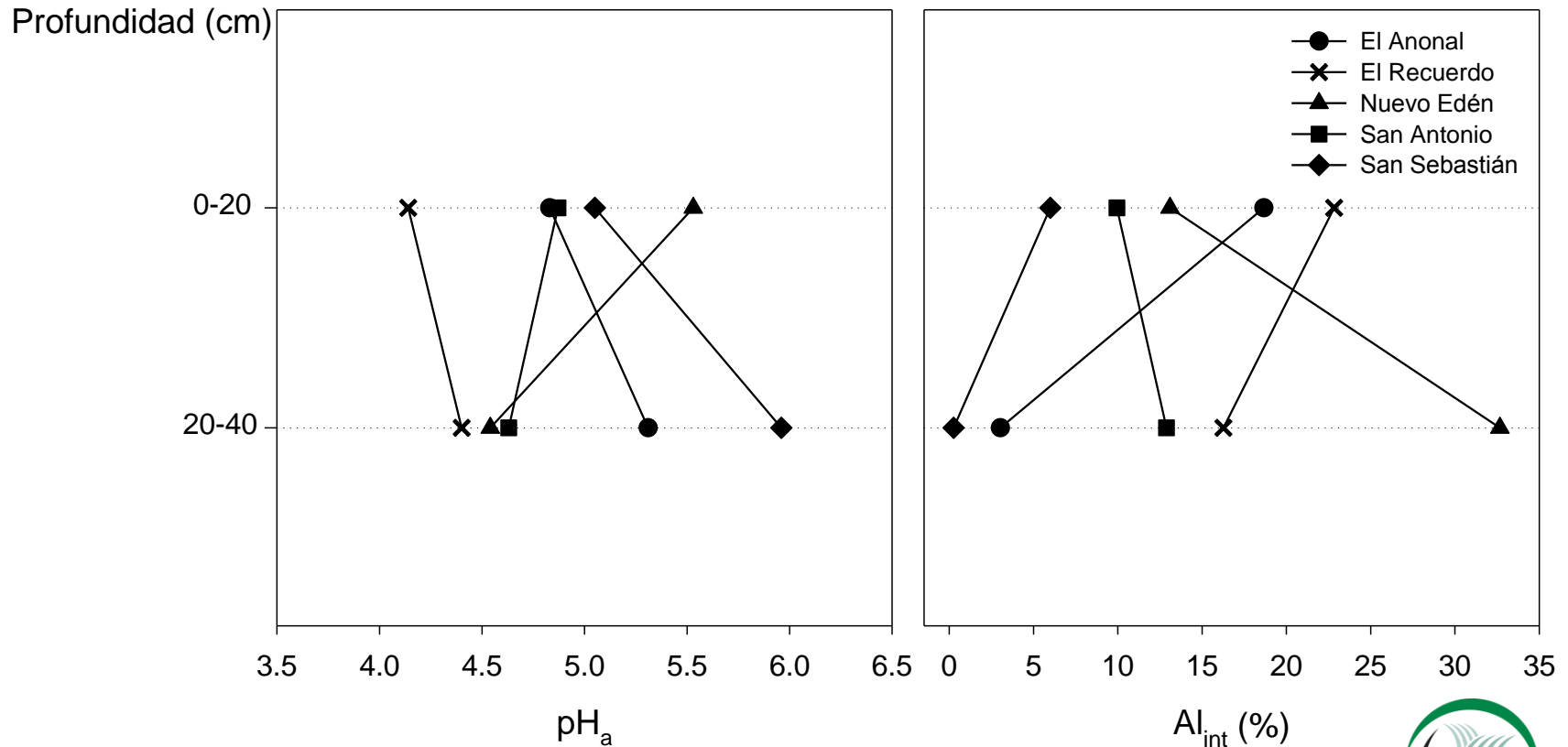
¿recomendación correcta?

- Se deben evaluar en el campo
- Sugerencia
 - Seleccionar una serie de localidades (~ 5 a 6) con suelos ácidos
 - Calcular requerimientos de cal con fórmula, NuMaSS, y recomendaciones del laboratorio
 - Aplicar recomendaciones y comparar resultados en el campo

Resultados de Análisis de Suelos de La Frailesca – abril 2012

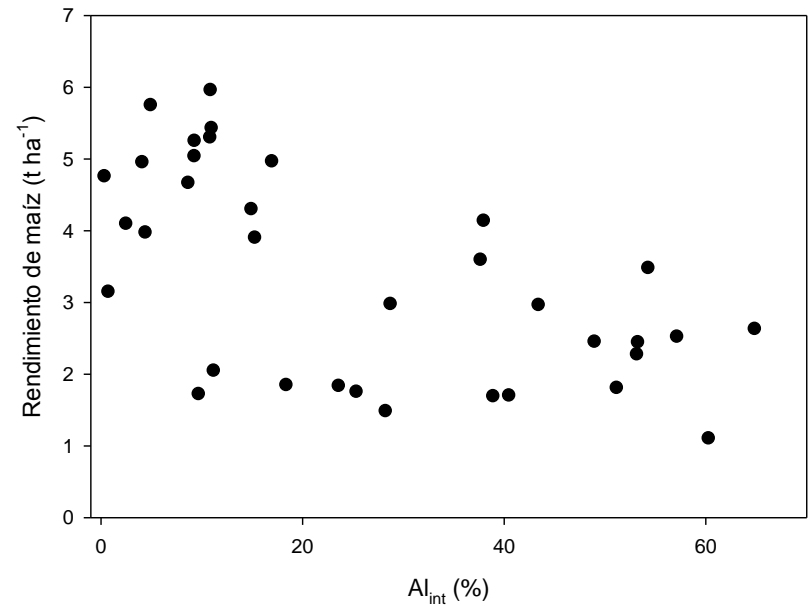
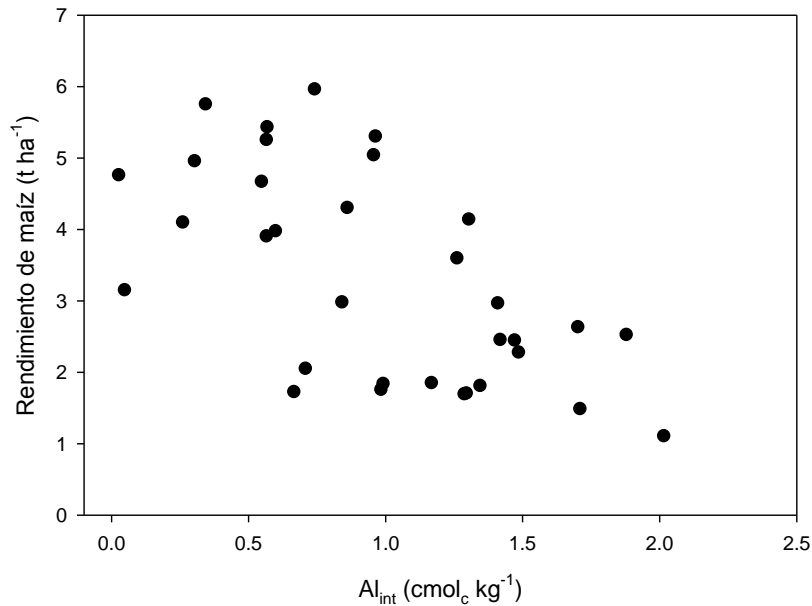
Resultados de análisis de suelos de La Frailesca

□ pH y Al_{int}



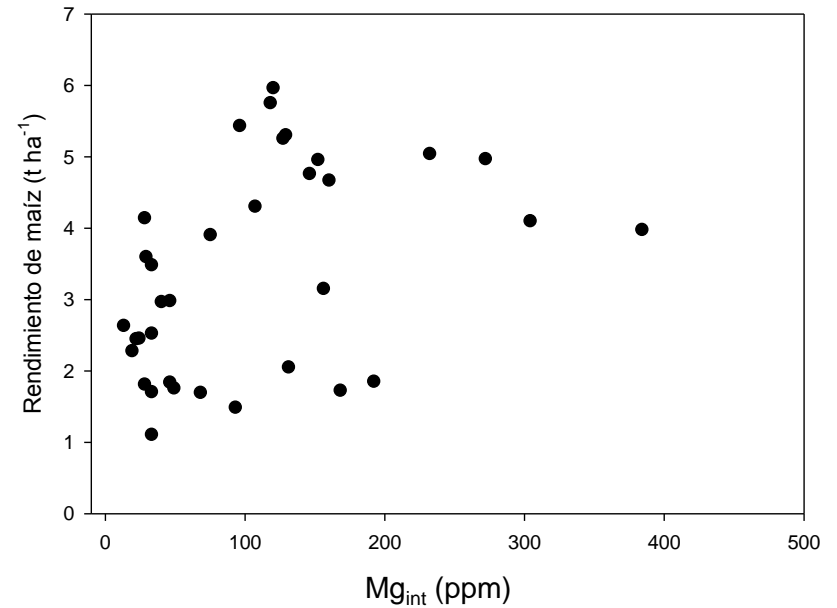
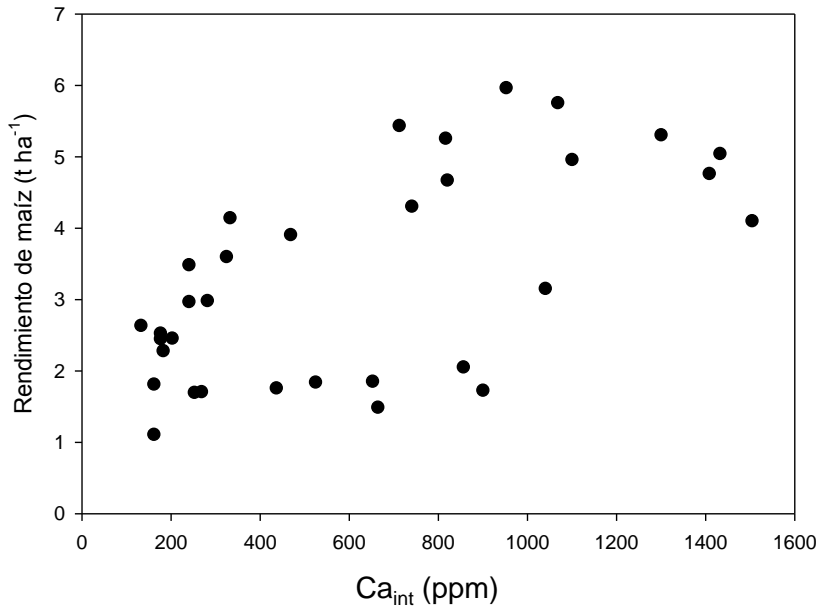
Efectos de Al en maíz

□ Resultados de La Frailesca



Efectos de Ca y Mg en maíz

□ Resultados de La Frailesca



Conclusiones

- pH influye en disponibilidad de nutrientes y toxicidades
- pH propiedad dinámica
- medición de pH sujeta a errores considerables
- pH mide la intensidad de la acidez
- es necesario conocer la capacidad de la acidez (capacidad amortiguadora del suelo)
- acidificación descontrolada lleva a degradación de los suelos

Conclusiones

- enfocar la determinación de las necesidades de cal en los cultivos más que en los suelos
- los subsuelos pueden ser más ácidos que las capas arables
- urge generar conocimiento local
- enfatizar evaluaciones de campo

Referencias

- Adams, F. (1981) Alleviating chemical toxicities: Liming acid soils. Cap. 8 en (Arkin, G.F. y H.M. Taylor, Eds.) Modifying the root environment to reduce crop stress. ASAE Monograph Number 4. 407 pp
- Aguilar S., A., G. Alcántara, y J. Etchevers. (1994) Acidez del suelo y encalado en México. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. 56 pp
- Black, C.A. (1993) Soil testing and lime requirement. Cap 8 en Soil fertility evaluation and control. Lewis. 746 pp
- Grundon, N. J. (1987). Hungry crops: a guide to nutrient deficiencies in field crops. Department of Primary Industries. Queensland. 242 pp
- Castellanos, J., J. Cueto, J. Macías, J. Roel, L. M. Tapia, J. M. Cortés, I. J. González, H. Mata, M. Mora, A. Vázquez, C. Valenzuela, y S. Enríquez. (2005). La fertilización en los cultivos de maíz, sorgo, y trigo en México. Folleto Técnico Num. 1 CIRC. CEB.
- Edmeades, D.C. y A. M. Ridley. (2003). Using lime to ameliorate topsoil and subsoil acidity. Cap 11 en (Z. Rengel, Ed.) Handbook of soil acidity. Marcel Dekker. 496 pp
- Fuentes, M., Govaerts, B., De León, F., Hidalgo, C., Dendooven, L., Sayre, K. D., and Etchevers, J. (2009). Fourteen years of applying zero and conventional tillage, crop rotation and residue management systems and its effect on physical and chemical soil quality. *European Journal of Agronomy* **30**, 228-237

Referencias

- Lierop, W. V. (1990). Soil pH and Lime Requirement Determination. *In* "Soil Testing and Plant Analysis", pp. 73-126. SSSA.
- Pocknee, S., and Sumner, M. E. (1997). Cation and Nitrogen Contents of Organic Matter Determine Its Soil Liming Potential. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **61**, 86-92
- Raij, B. van. (2011) Acidez e calagem. Cap. 8 en Fertilidade do solo e Manejo de nutrientes. IPNI. 420 pp
- Sánchez, P. (1981) Acidez del suelo y encalamiento. Cap 7 en Suelos del Trópico. Características y Manejo. IICA. 634 pp
- Sims, J. T. (1996). Lime Requirement. *Methods of Soil Analysis Part 3—Chemical Methods* sssa bookseries, 491-515
- Smyth, T. (2012). Soil acidity and liming. Cap. 12 en (P. Ming Huang, Y. Li, y M. E. Sumner, Eds.) Handbook of soil sciences. Resource management and environmental impacts. CRC Press.
- Sumner, M. E., M.V. Fey, y A. D. Noble (1991). Nutrient status and toxicity problems in acid soils. Cap. 7 en (Ulrich, B. y M.E. Sumner, Eds.) Soil Acidity. Spring Verlag.
- Sumner, M. E. (1993). Gypsum and Acid Soils: The World Scene. *In* "Advances in Agronomy" (L. S. Donald, ed.), Vol. Volume 51, pp. 1-32. Academic Press

Referencias

- Sumner, M. E. (1994). Measurement of soil pH: Problems and solutions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **25**, 859-879.
- Sumner, M.E. (1995) Amelioration of subsoil acidity with minimum disturbance. En (N.S. Jayawardane y B.A. Stewart, Eds.) *Subsoil Management Techniques. Advances in Soil Science*. Lewis. 247 pp
- Sumner, M.E. (1997) Procedures used for diagnosis and correction of soil acidity: A critical review. En (A.C. Moniz, Ed.) *Plant-Soil Interactions at Low pH*. 195-204
- Sumner, M. E. y Yamada, T.(2002). FARMING WITH ACIDITY. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **33**.
- Zetina L., R., L. Pastrana, J. Romero, y J. Jiménez. (2002). Manejo de Suelos Ácidos Para la Región Tropical Húmeda de México. CIRGC. Libro Técnico No. 10. 170 pp

Dr. Armando Tasistro

**Director, México y América Central, IPNI, Norcross,
GA, EE.UU.**

atasistro@ipni.net

