

Acidez del suelo y su manejo

Nelson Walter Osorio

Ing. Agrónomo, M. Sc., Ph. D.

Universidad Nacional de Colombia

Profesor Asociado - Biotecnología Ambiental

Escuela de Biociencias- Facultad de Ciencias

Correo-e: nwosorio@unal.edu.co, nwosorio@gmail.com

Web-page: <https://sites.google.com/site/nwosorio/>

Contenido

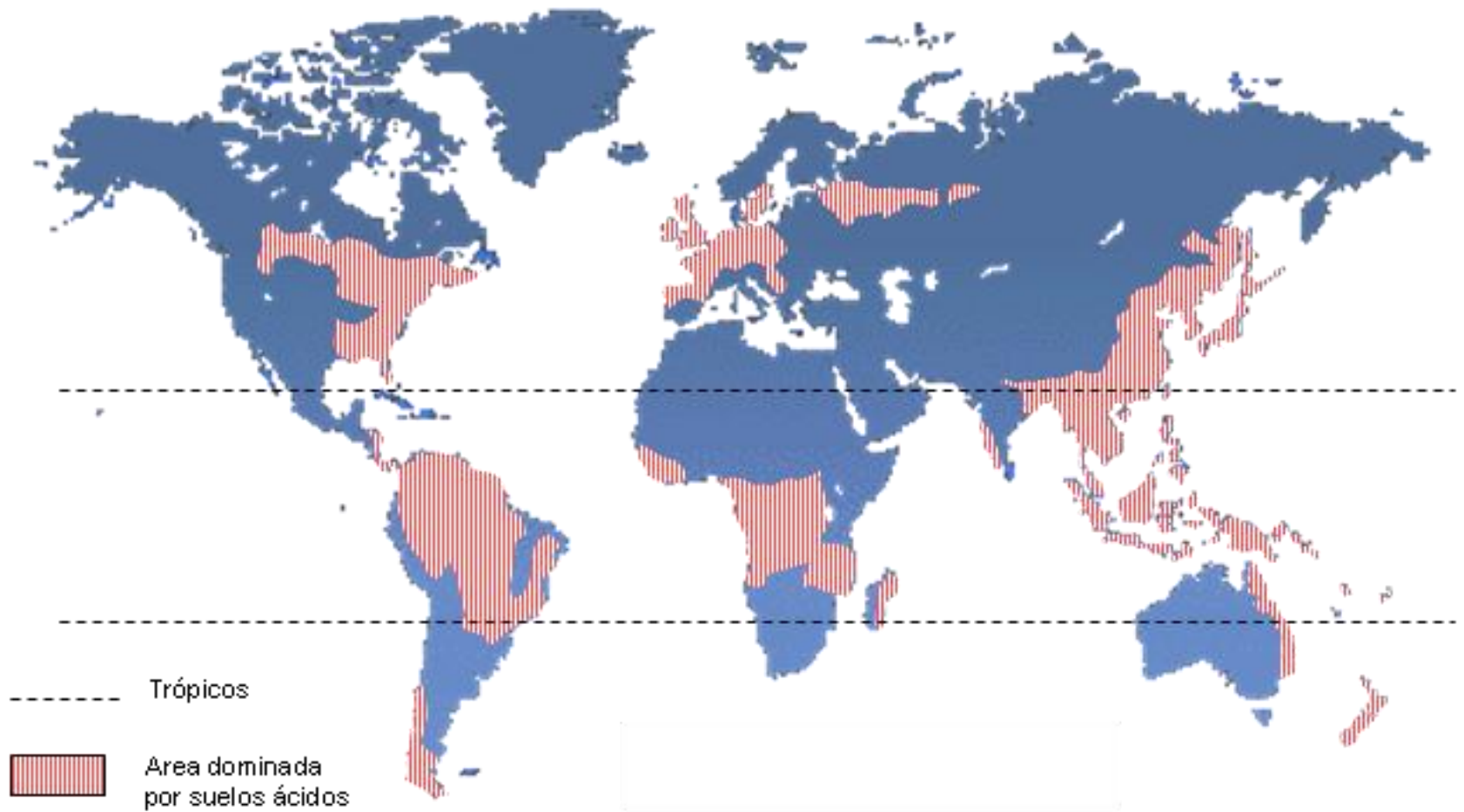
- Naturaleza de la acidez del suelo
- Extensión de la acidez del suelo en los trópicos
- Origen del Al en el suelo
- Causas de la acidez del suelo
- Al y las superficies intercambiables del suelo
- Fitotoxicidad por Al
- Diagnóstico de la acidez del suelo y la toxicidad por Al
- Manejo de la acidez del suelo

Acidez del suelo

- $\text{pH} = -\log(\text{H}^+)$
- Suelos ácidos, $\text{pH} < 7.0$
- $\text{pH} < 6.0$

- No solo es un problema de bajo pH
- Alto contenido de Al^{3+} en solución e intercambiable (toxicidad)
- Baja disponibilidad de Ca^{2+} , Mg^{2+}
- Deficiencia de H_2PO_4^-
- En algunos casos, excesos de Mn (toxicidad)

Suelos ácidos del mundo



Suelos ácidos en Colombia

- Se ha estimado que alrededor del 80-85 % de los suelos de Colombia son ácidos.
- Particularmente, las regiones naturales:
 - Orinoquia
 - Amazonía
 - Pacífico
 - Andina
- Suelos neutros y alcalinos predominan en
 - Caribe
 - Valles interandinos de los ríos Magdalena y Cauca

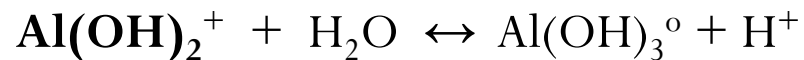
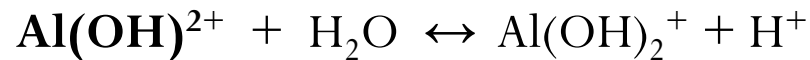
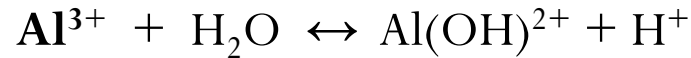
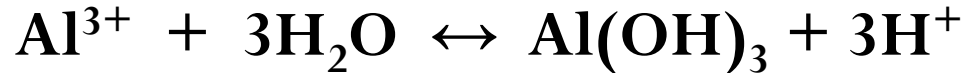
Origen de la acidez

- Meteorización de minerales:

- $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ (Albita) + $4\text{H}_2\text{O} + 4\text{H}^+ \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Al}^{3+} + 3 \text{H}_4\text{SiO}_4$ (K=10^{2.74})
- KAlSi_3O_8 (Microclina) + $4\text{H}_2\text{O} + 4\text{H}^+ \rightarrow \text{K}^+ + \text{Al}^{3+} + 3 \text{H}_4\text{SiO}_4$ (K=10^{1.00})
- $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})$ (Muscovita) + $10\text{H}^+ \rightarrow \text{K}^+ + 3\text{Al}^{3+} + 3 \text{H}_4\text{SiO}_4$ (K=10^{13.44})
- $\text{CaAl}_2\text{SiO}_6$ (Piroxeno) + $8\text{H}^+ \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{Al}^{3+} + \text{H}_4\text{SiO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ (K=10^{35.25})
- $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ (Halloisita) + $6\text{H}^+ \rightarrow 2\text{Al}^{3+} + 2\text{H}_4\text{SiO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ (K=10^{8.72})
- $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ (Caolinita) + $6\text{H}^+ \rightarrow 2\text{Al}^{3+} + 2\text{H}_4\text{SiO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ (K=10^{5.45})

Origen de la acidez

- Hidrolisis del Al^{3+} :

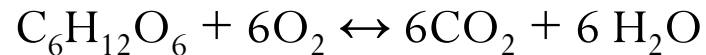


- Toxicidad para plantas y microorganismos del suelo la causan las especies químicas: $\text{Al}^{3+} > \text{Al}(\text{OH})^{2+} > \text{Al}(\text{OH})_2^+$

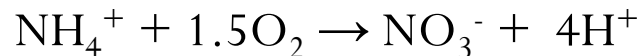
$\text{Al}(\text{OH})_3^{\circ}$: es una especie química muy insoluble, particularmente a $\text{pH} \geq 5.5$.

Otras causas de acidez

- *Descomposición microbial de la materia orgánica*: se liberan ácidos orgánicos y CO_2 , este último formará posteriormente ácido carbónico (H_2CO_3):

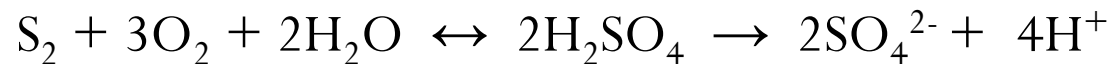


- *Oxidación microbial de NH_4^+ a NO_3^- (Nitrificación)*:



Otras causas de acidez

- *Oxidación microbiana de S y sulfuros* para formar ácido sulfúrico (H₂SO₄):



- *Lixiviación de bases intercambiables* debido al alto régimen de pluviosidad
- *Lluvia ácida* producida por la contaminación ambiental
- *Absorción de nutrientes* por las raíces y los microorganismos, particularmente cuando la fuente de N es NH₄⁺.

Otras causas de acidez

Efectos de fertilizantes amoniacales sobre el pH y las bases Intercambiables en dos suelos de Colombia. Fuente: Bravo (1984).

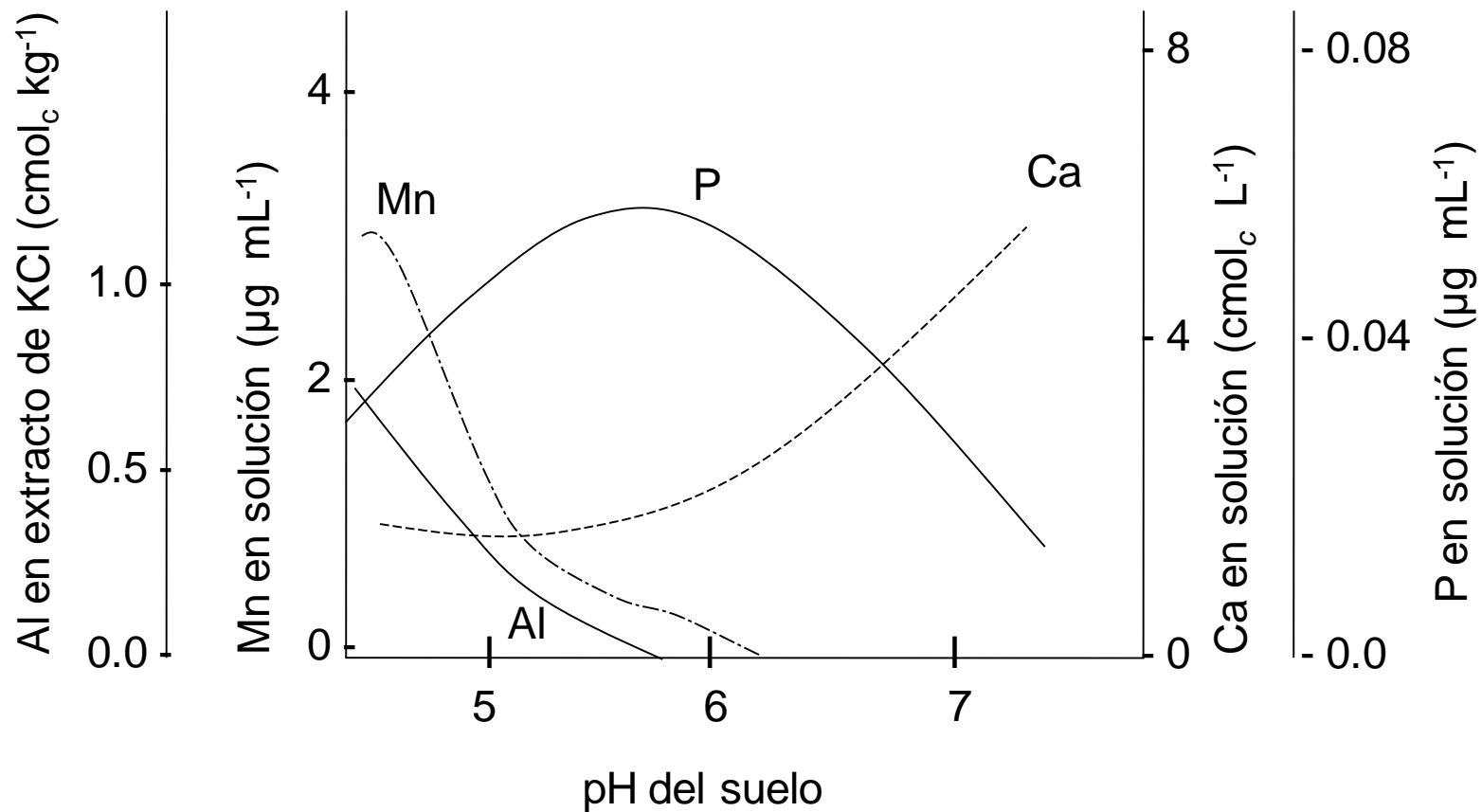
Suelo	Tratamiento	pH	Ca	Mg	K
			-----($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$)-----		
Andisol	No fertilizado	5.5	5.6	1.2	1.20
	12-12-17-2	4.5	3.5	0.7	0.80
	Sulfato de amonio	3.7	0.5	0.1	0.04
	Nitrato de amonio	3.9	0.6	0.2	0.04
Inceptisol	No fertilizado	5.0	2.4	0.8	0.18
	12-12-17-2	4.0	3.4	1.0	2.70
	Sulfato de amonio	3.5	0.7	0.2	0.11
	Nitrato de amonio	3.2	0.5	0.3	0.12

DIAGNÓSTICO DE LA ACIDEZ DEL SUELO Y LA TOXICIDAD POR AL

Problemas de los suelos ácidos

- Alta actividad de H^+ en la solución del suelo que puede restringir la nutrición vegetal y microbial.
- Exceso de Al intercambiable y soluble (toxicidad).
- Deficiencia de algunos nutrientes: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+
 - por lixiviación
 - por competencia de estos nutrientes con Al^{3+} y H^+ en sitios de adsorción en las superficies minerales y en los sitios absorción de las células.
 - Interferencia en la absorción de $H_2PO_4^-$ (por precipitación con especies de Al o Fe): los fosfatos de Fe y Al son muy insolubles.

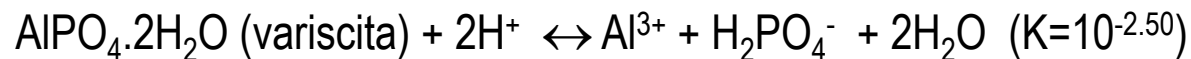
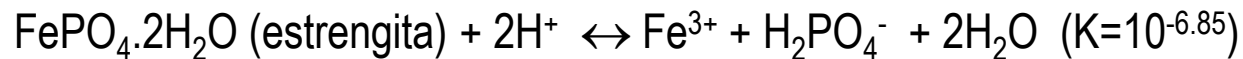
Efectos del encalamiento



Cambios en los niveles de Al, Ca, P y Mn en extractos de saturación en función del pH del suelo establecido a través de la aplicación de cal en un Oxisol

Precipitación de P con Al, Fe, Ca

En suelo ácidos (pH <5.5)



Fraccionamiento del P-mineral en suelos tropicales de Colombia & Hawai'i. Fuente: Osorio (2008) y Osorio (sin publicar).

Suelo	P-lábil (%)	P-Al (%)	P-Fe (%)	P-Ca (%)
<u>Poco meteorizado:</u>				
Vertisol (Lualualei, HI)	0.5	16.7	27.7	55.0
Mollisol (Neira, Col)	0.6	35.4	11.1	52.9
<u>Altamente meteorizado:</u>				
Oxisol (Paaloa, HI)	0.9	22.4	49.4	27.3
Oxisol (Hali, HI)	0.5	20.7	61.4	17.4
Oxisol (Makapili, HI)	0.7	6.6	78.3	14.3
Oxisol (Kapaa, HI)	0.6	43.9	44.5	11.0
Oxisol (Molokai, HI)	0.03	32.6	58.2	9.1
Oxisol (Wahiawa, HI)	0.5	24.0	67.8	7.7
Oxisol (Carimagua, Col)	0.3	10.3	87.6	1.8
<u>Muy altamente meteorizado:</u>				
Ultisol (Caucasia, Col)	0.2	8.8	90.9	0.0

* lábil= disponible; suma de P soluble y débilmente adsorbido

Fraccionamiento del P-mineral en suelos volcánicos de Colombia & Hawaii.

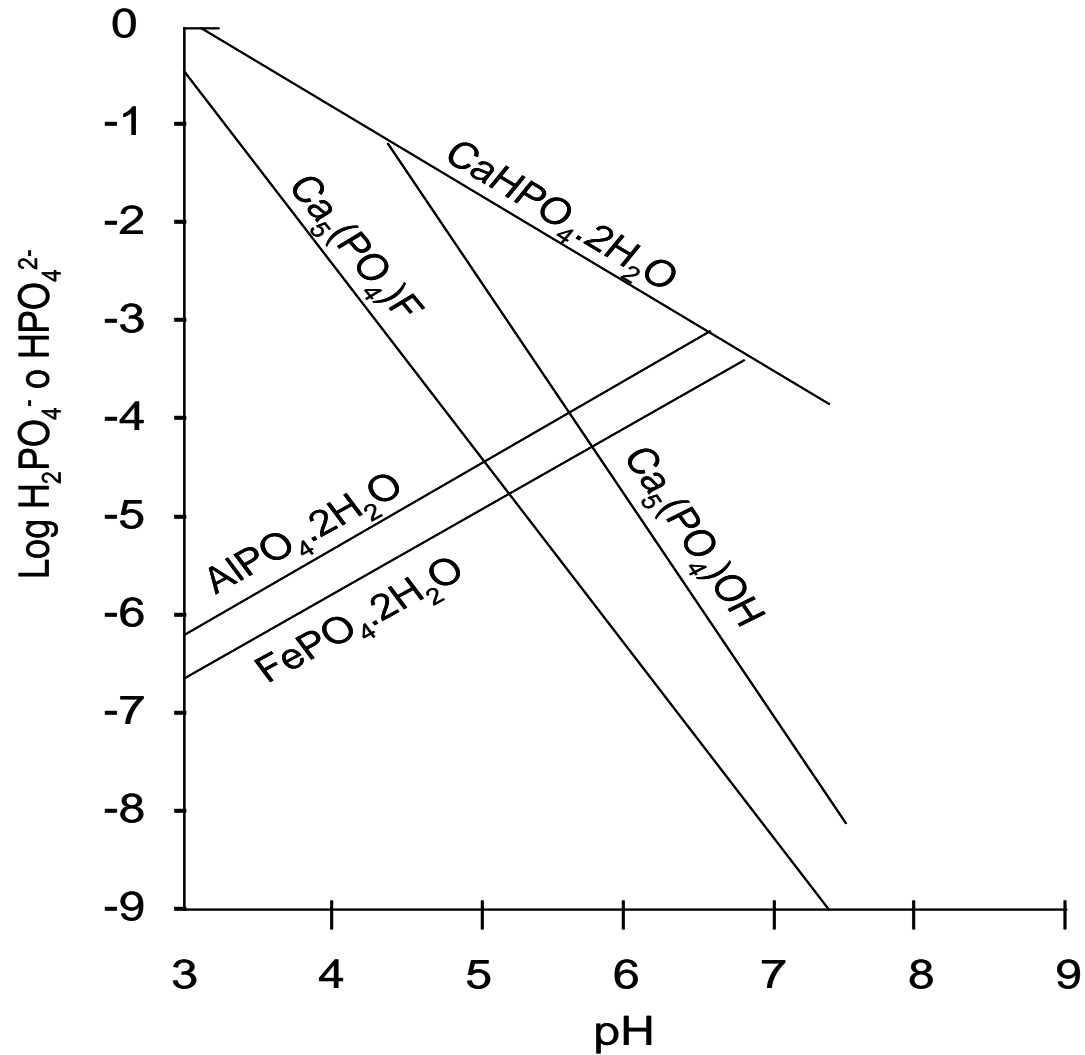
Fuente: Osorio (2008).

Suelo	P-lábil* (%)	P-Al (%)	P-Fe (%)	P-Ca (%)
<u>Poco meteorizado:</u>				
Vitrand (Letras, Col)	1.3	52.7	2.0	43.9
Xerand (Koko, HI)	5.8	31.9	21.0	41.3
Hydrudand (Honokaa, HI)	0.2	35.8	12.9	51.1
<u>Moderadamente meteorizado:</u>				
Melanudand (Guarne, Col)	0.4	71.3	2.4	25.9
Endoaquand (La Selva, Col)	0.4	71.0	9.2	19.4
Melanudand (Naranjal, Col)	1.0	79.7	7.5	11.8
Fulvudand (Tantalus, HI)	0.3	16.5	69.0	14.2

* lábil= disponible; suma de P soluble y débilmente adsorbido

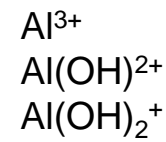
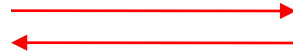
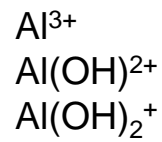
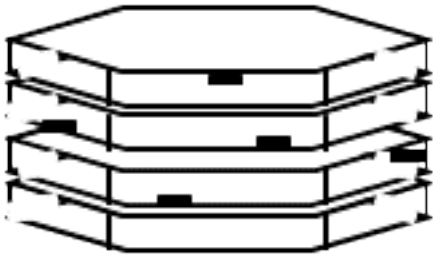
Solubilidad de fosfatos de calcio, variscita y estrengita en función del pH.

Fuente: Lindsay (2001)



Fase intercambiable

Fase soluble

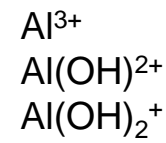
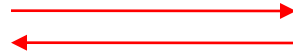
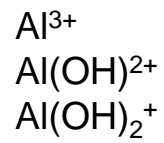
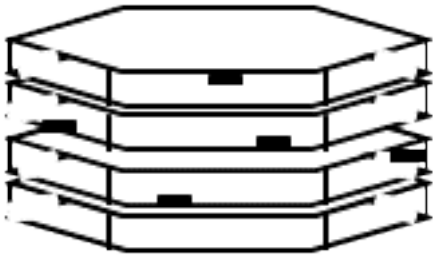


Equilibrio químico tiende a mantener estas especies en ambas fases

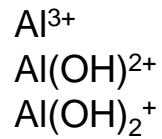
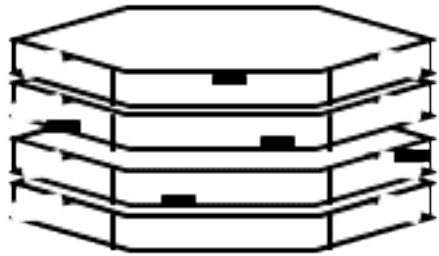
Fase intercambiable

Fase soluble

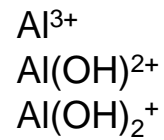
Estas especies generan acidez



FASE INTERCAMBIABLE



FASE SOLUBLE

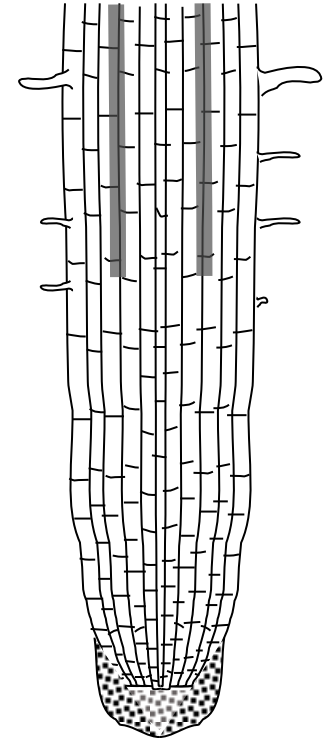


Causan toxicidad
en plantas y
microorganismos
(p.e., ↓ nitrificación)

Generan acidez



Interfieren con la absorción
de nutrientes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ ,
 H_2PO_4^-), MoO_4^{-2-} , SO_4^{2-})



Diagnóstico de la acidez del suelo ...

- pH del suelo:



. Interpretación del pH del suelo (agua, 1:1, V:V). Fuente: ICA (1992).

pH	Categoría	Interpretación
< 5.0	Extremadamente ácido	Severa toxicidad por Al y quizá por Mn; Alta probabilidad de deficiencia de P, S, Mo y bases intercambiables; se esperan altos niveles de algunos micronutrientes. Muchos cultivos requieren encalamiento.
5.0-5.5	Fuertemente ácido	Toxicidad por Al y Mn; deficiencia de P, S, Mo y bases; altos niveles de algunos micronutrientes. Muchos cultivos requieren encalamiento.
5.5-6.0	Moderadamente ácido	No toxicidad por Al; mayor disponibilidad de P, S, Mo y bases. Algunos cultivos susceptibles a la acidez del suelo requieren encalamiento.

Diagnóstico de la acidez del suelo ...



- pH del suelo:

. Interpretación del pH del suelo (agua, 1:1, V:V). Fuente: ICA (1992).

pH	Categoría	Interpretación
6.0-6.5	Ligeramente ácido	Adecuada condición para la disponibilidad de nutrientes para las plantas.
6.5-7.3	Neutro	Altos niveles de Ca, Mg. Algunos cultivos pueden mostrar deficiencias de micronutrientes. La disponibilidad de P puede ser baja.
7.4-8.0	Alcalino	Baja disponibilidad de P y micronutrientes. Altos niveles de Ca, Mg. El Na puede ser un problema.
> 8.0	Muy alcalino	Severas limitaciones en la disponibilidad de algunos nutrientes. El Na puede ser tóxico.

Diagnóstico de la acidez del suelo ...

- **Saturación de Al**

La saturación de Al es la proporción de Al intercambiable que ocupa los sitios de intercambio efectivos del suelo. Ésta se calcula así:

$$\text{Saturación Al(\%)} = \frac{\text{Ali}}{\text{CICE}} \times 100$$

Donde, CICE= la capacidad de intercambio catiónica efectiva, la cual se calcula con la suma de los principales cationes intercambiables:

$$\text{CICE} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^{+} + \text{Na}^{+} + \text{H}^{+} + \text{Al(OH)}_x^{(3-x)+}$$

Diagnóstico de la acidez del suelo ...

Saturación de Al Crítica para algunos cultivos. Fuente: ADSS, 1990.

Cultivo	Saturación de Al crítica (%)
Maíz	30
Sorgo	15
Arroz de secano	40-60
Caupí	60
Maní	40
Soya	0-25
Yuca	75
Patata	30
<i>Desmodium y Centrosema</i>	85
<i>Brachiaria decumbens</i>	85

Manejo de la acidez del suelo

- Plantas tolerantes a suelos ácidos (pH, Al, P, Ca, Mg, Mn)...
- Uso de enmiendas orgánicas: estiércol, compost
- Microorganismos del suelo?
- Aplicación de cal

Cales

- *cal agrícola* (CaCO_3)
- *cal viva* (CaO)
- *cal hidratada* o *apagada* $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- *cal dolomita* ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$)

Enmiendas cálcicas

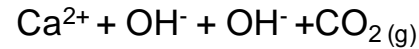
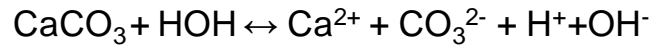


Enmienda	NOMBRE	PORTADOR NUTRICIONAL	Ca (%)	Solubilidad (g L ⁻¹) @ 20°C	Pureza
Cal agrícola	Carbonato de calcio	CaCO ₃	40	0.00617-0.013	70-95%
Cal hidratada	Hidróxido de calcio	Ca(OH) ₂	54	1.73	95-98%
Cal viva	Oxido de calcio	CaO	70	1.65	95-98%
Cal dolomita	Mezcla de carbonato de calcio y de magnesio	CaCO ₃ MgCO ₃	22-30		90-95%
Yeso	Sulfato de calcio	CaSO ₄ · 2H ₂ O	23 (19%S)	2.55 g L ⁻¹	80-85%

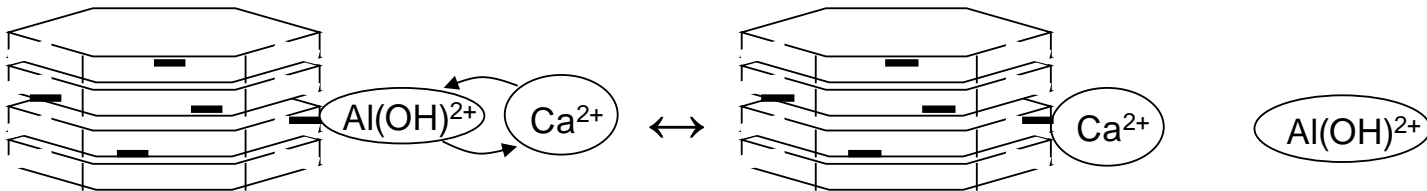
El contenido de calcio en las enmiendas se expresa en términos de CaO. En realidad no hay oxido de calcio, excepto en la cal viva, sólo es una forma tradicional de expresarlo (CaO= 1.4 x Ca) (Ca = CaO ÷ 1.4).

Reacciones del encalamiento

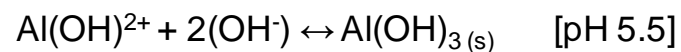
DISOLUCIÓN



INTERCAMBIO

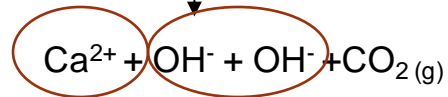
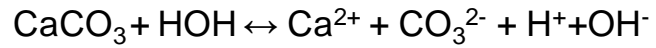


NEUTRALIZACIÓN

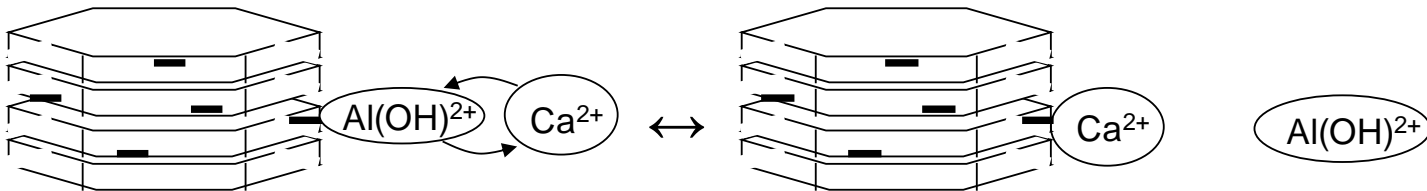


Reacciones del enclamiento

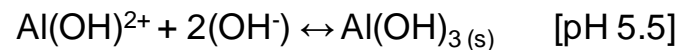
DISOLUCIÓN



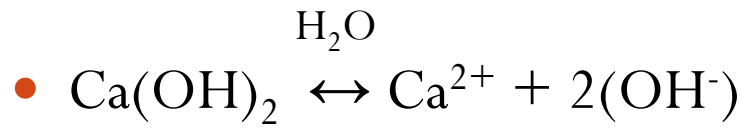
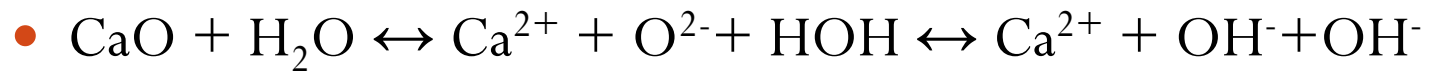
INTERCAMBIO



NEUTRALIZACIÓN



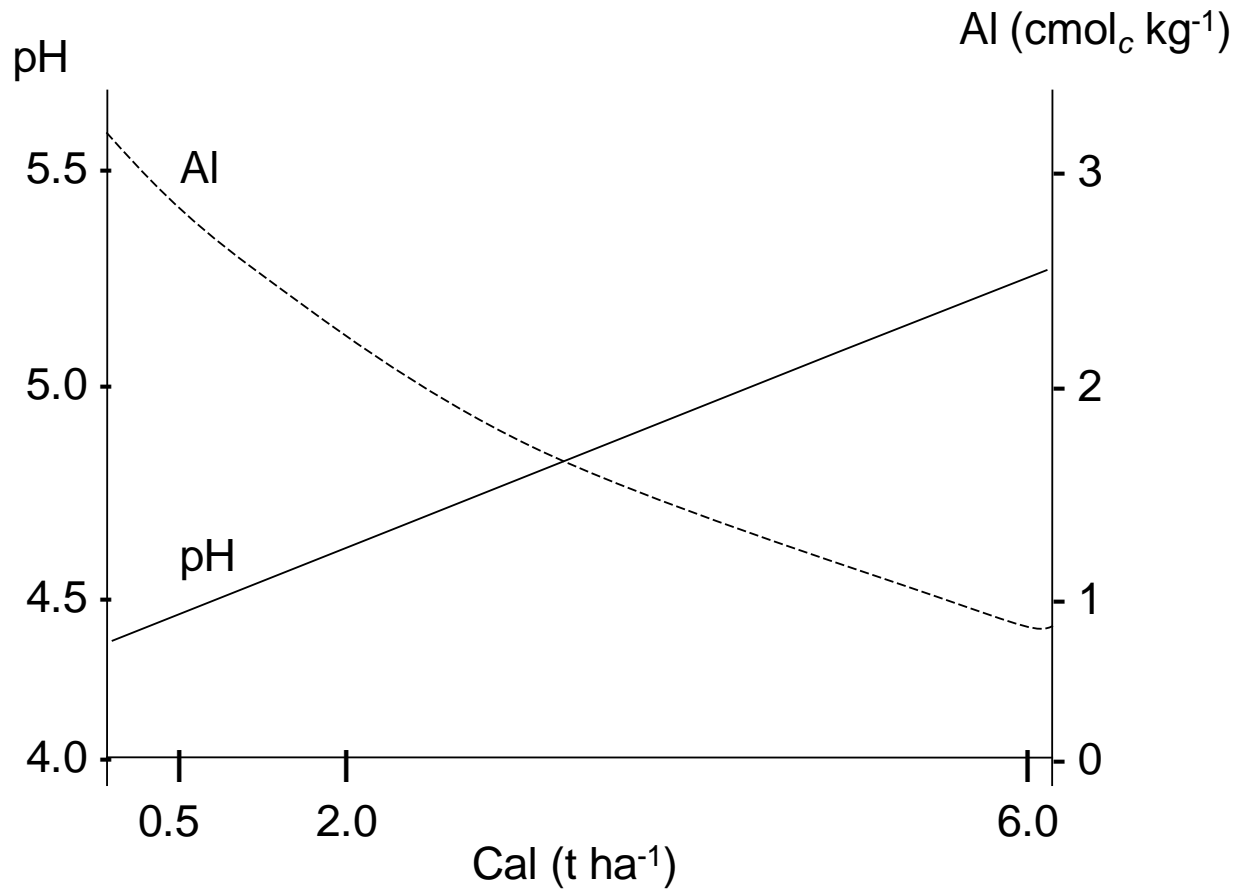
Reacciones del encalamiento



Reacciones del encalamiento

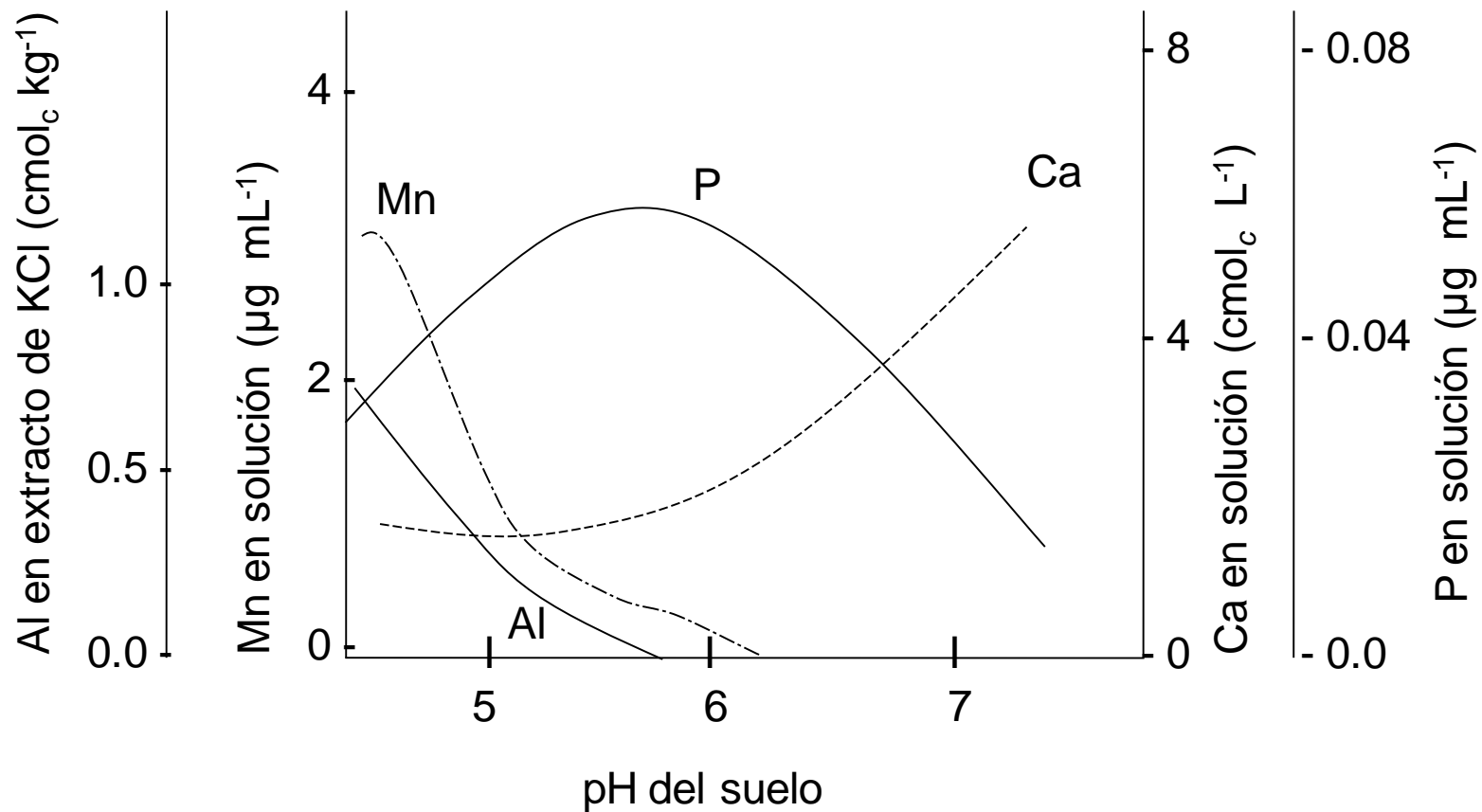
- ¡Se requiere agua!
- El Ca^{2+} no es responsable de la producción de OH^-
- Se requiere que ocurra intercambio de Al por Ca
- Dada la baja solubilidad de las cales, se requiere tiempo para la reacción (min.: 20- 30 días)
- Dada la baja solubilidad de las cales, se debe incorporar la cal para que tenga efecto en el volumen del suelo donde se desarrollan las raíces (10-20 cm de profundidad)

Efectos del encalamiento



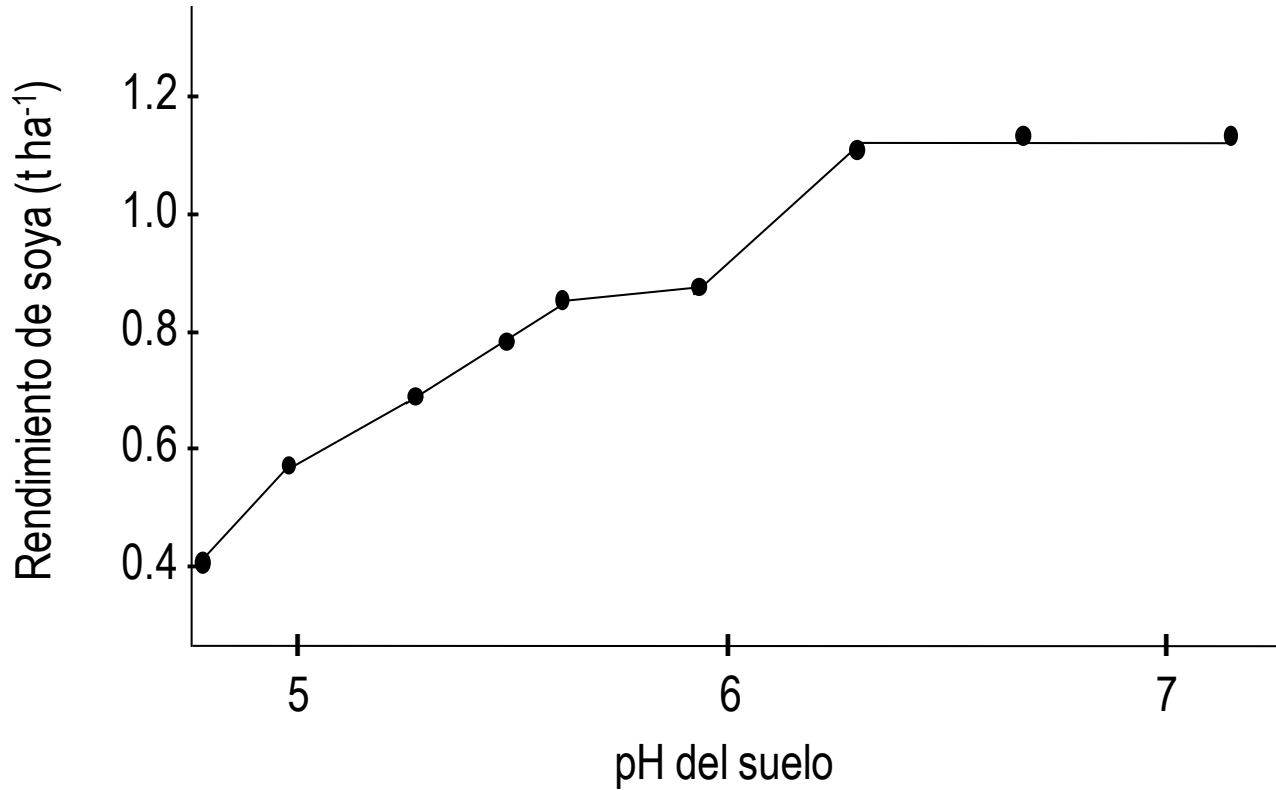
Efecto de la adición de cal sobre el pH del suelo y el contenido de Al intercambiable en un Oxisol de Carimagua, Colombia. Fuente: Spain (1976).

Efectos del encalamiento



Cambios en los niveles de Al, Ca, P y Mn en extractos de saturación en función del pH del suelo establecido a través de la aplicación de cal en un Oxisol

Efectos del encalamiento



Rendimiento de granos de soya en función del pH del suelo establecido con encalamiento de un Oxisol

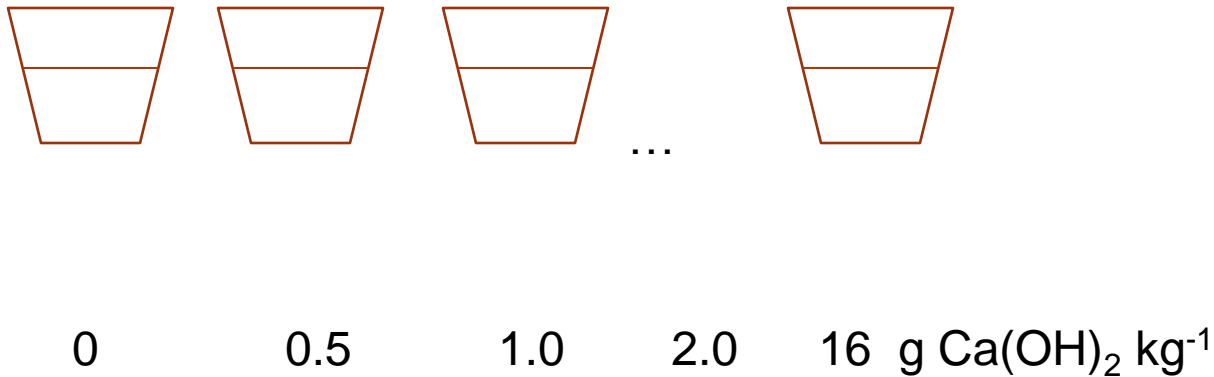
Como determinar los requerimientos de cal?

Existen varios métodos:

- Incubación con cal (para buscar un pH deseado)
- Basado en la saturación de Al
- Aporte de Ca y Mg para mejorar sus disponibilidad

Incubación con cal

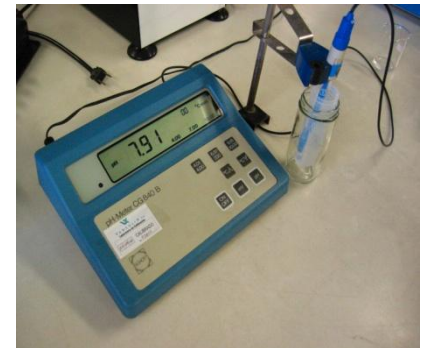
- En el laboratorio se aplican cantidades crecientes de una cal $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a muestras de un suelo dado.



- Las muestras de suelo se deben mantener húmedas (no saturadas)

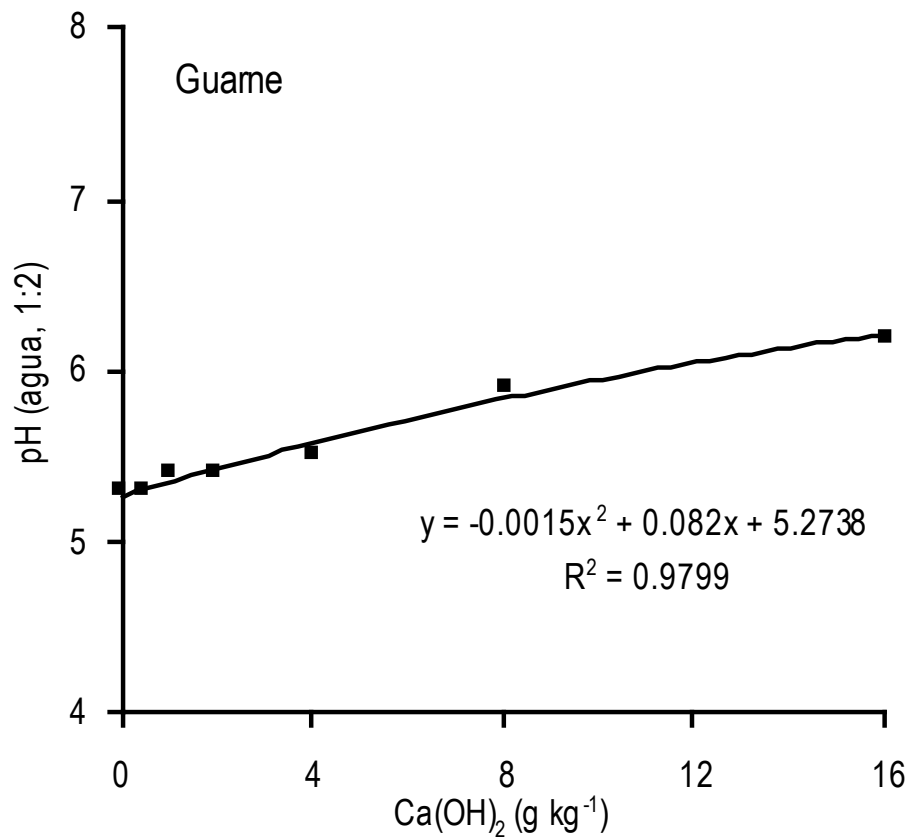
Incubación con cal

- Las muestras del suelo se deja incubar durante 2-3 semanas
- Se mide el pH (agua, 1:1-1:2)

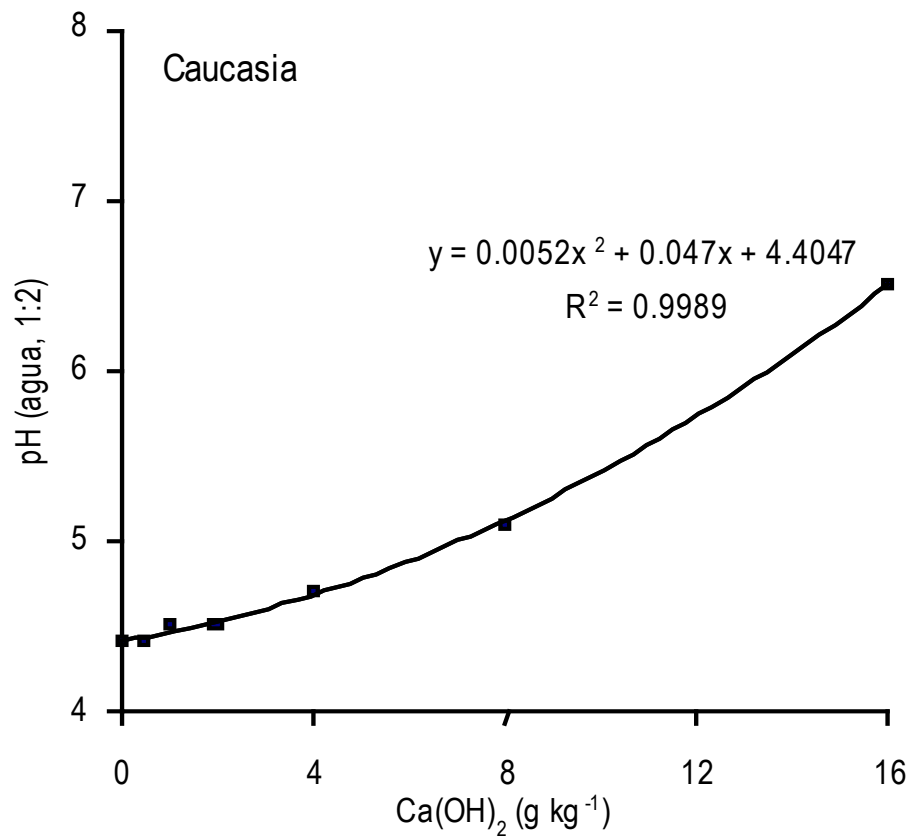
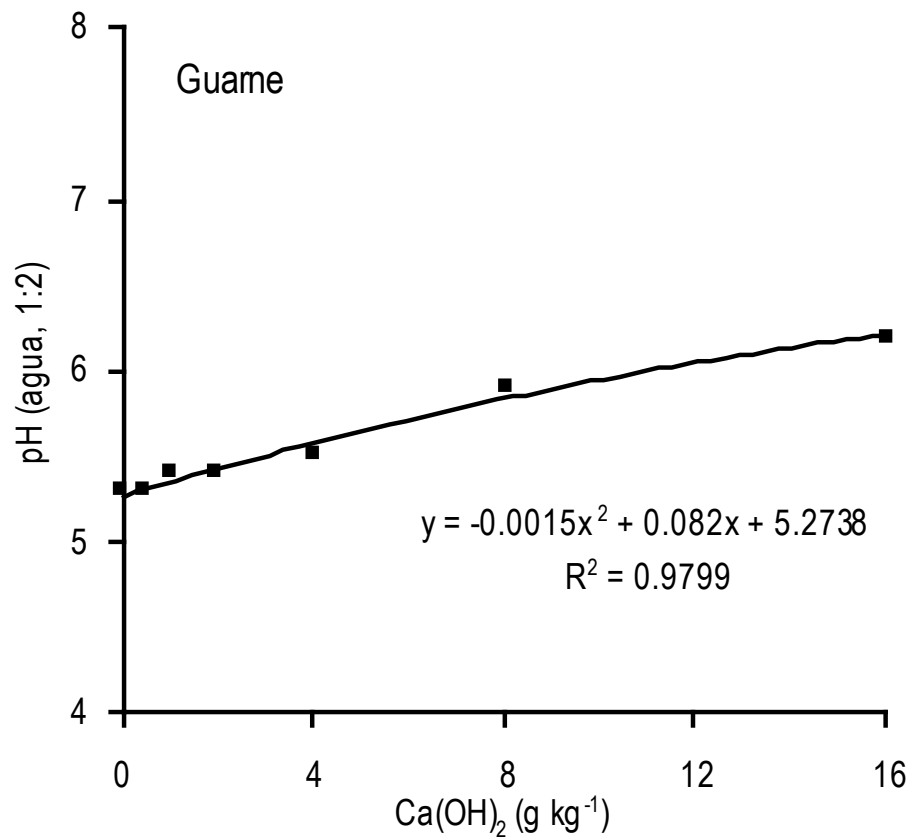


- Los datos se grafican y se obtiene un modelo de regresión

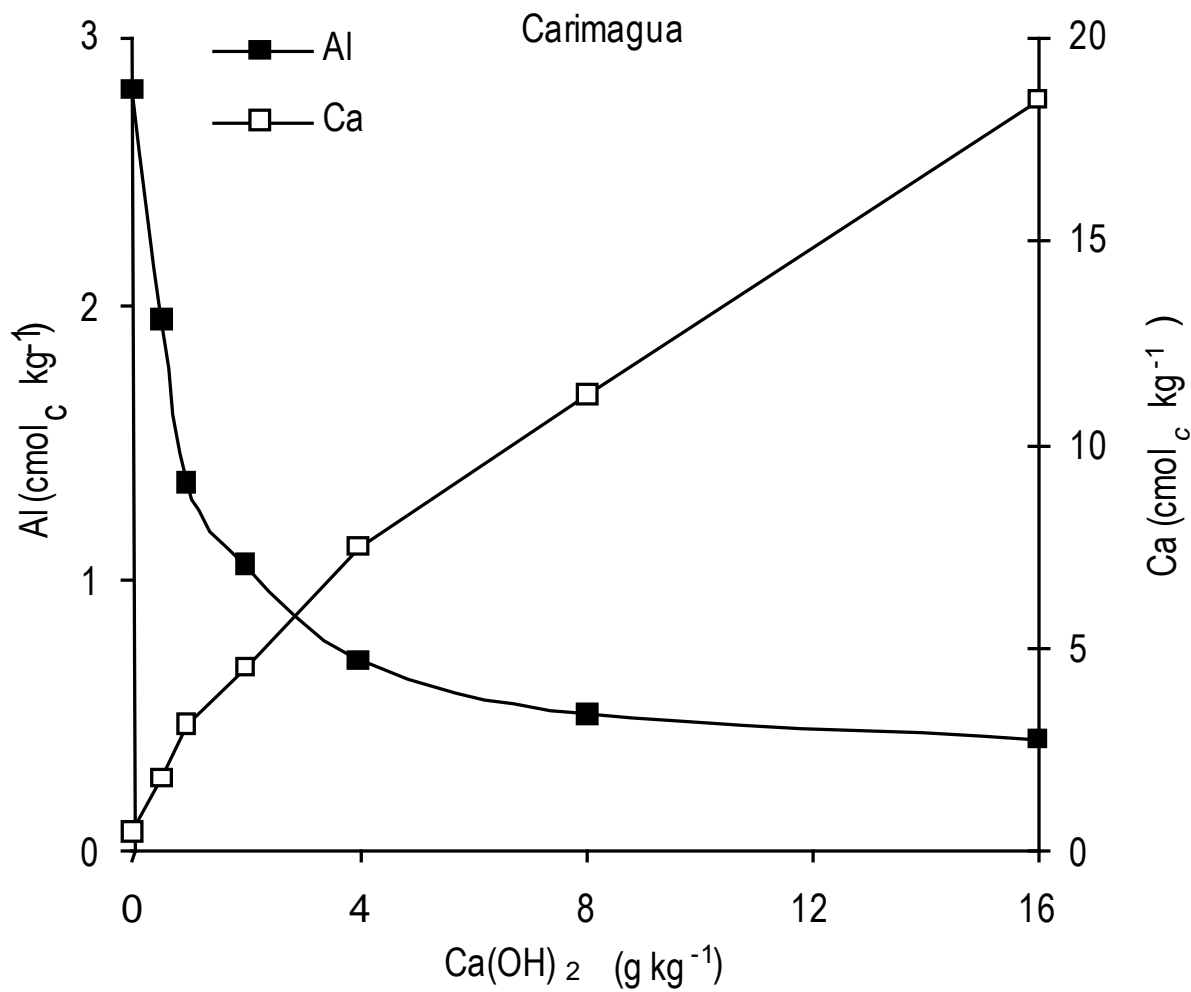
Incubación con cal



Incubación con cal

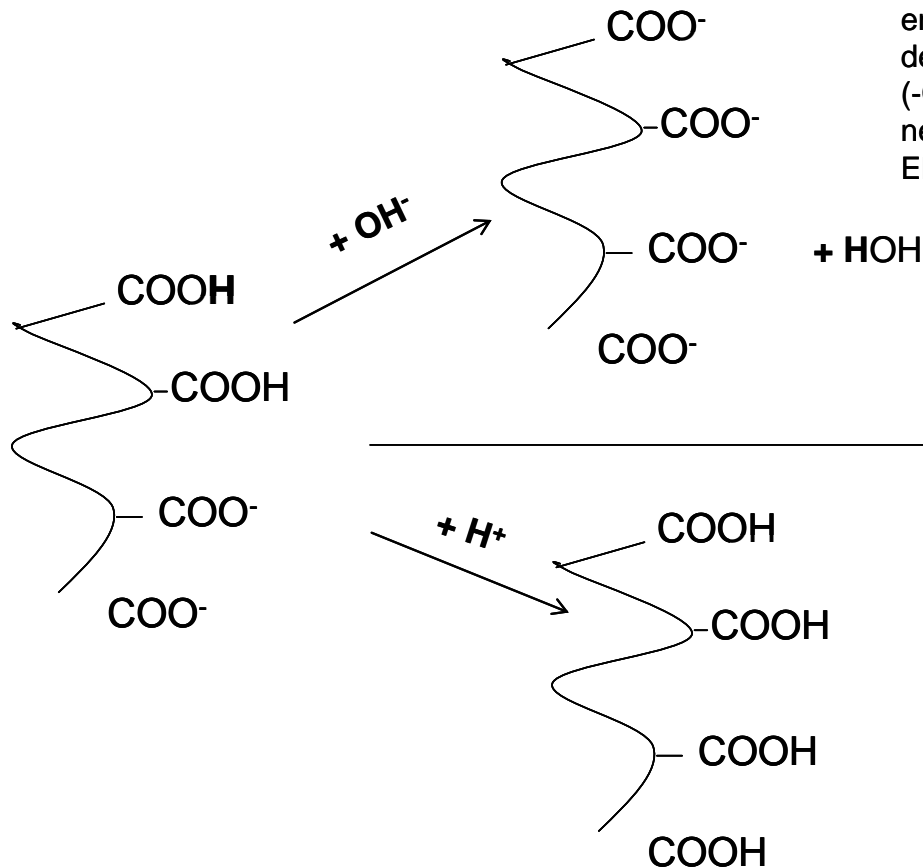


Incubación con cal



Capacidad buffer del suelo

Materia orgánica

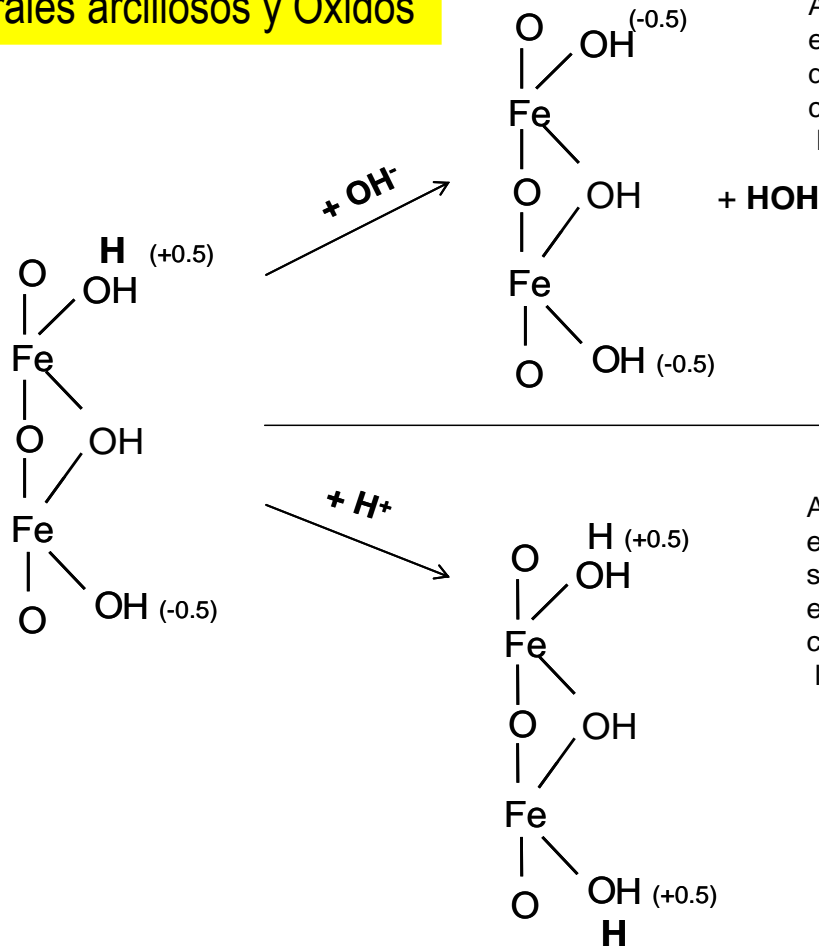


Al aumentar la concentración de OH^- en la solución se presenta la liberación de un protón (H^+) del grupo carboxílico ($-\text{COOH}$), con lo cual se aumenta la carga negativa en la superficie. El OH^- fue así neutralizado.

Al aumentar la concentración de H^+ en la solución, éste es atrapado en la superficie del mineral, específicamente por el grupo carboxilato ($-\text{COO}^-$). El H^+ fue así neutralizado.

Capacidad buffer del suelo

Minerales arcillosos y Oxidos



Al aumentar la concentración de OH⁻ en la solución se presenta la liberación de un protón del grupo Fe-OH₂⁺, con lo cual se aumenta la carga negativa en la superficie. El OH⁻ fue así neutralizado.

Al aumentar la concentración de H⁺ en la solución, éste es atrapado en la superficie del mineral, específicamente por el grupo Fe-OH⁻, que se convierte Fe-OH₂⁺, con lo cual se aumenta la carga positiva en la superficie. El H⁺ fue así neutralizado.

Requerimientos de cal basado en Ali

Calcio requerido para encalar ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) = $1.5 \times \text{Ali}$

Donde,

$\text{Ali} (\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1})$ = aluminio intercambiable extraído con KCl 1M.

1.5 es un factor que se utiliza para compensar la baja reactividad del CaCO_3 , se ha sugerido usar un factor mayor (2) cuando hay alto contenido de M.O.

Requerimientos de cal basado en Ali

CUADRO 6.4. Para un Andisol con las siguientes características pH= 4.9, Ali = 2.5 cmol_c kg⁻¹, profundidad 10 cm, Dap= 0.6 Mg·m⁻³; la pureza de la cal agrícola es del 90%. Para establecer un cultivo de kikuyo con uso efectivo del terreno del 100% la cantidad de cal a aplicar será:

$$\text{Ca (cmol}_c\text{ kg}^{-1}\text{)} = 1.5 \times 2.5 = 3.75 \text{ cmol}_c\text{ kg}^{-1}$$

$$\text{CaCO}_3(\text{t ha}^{-1}) = \frac{3.75 \text{ cmol}_c\text{ Ca}}{\text{kg suelo}} \times \frac{0.6 \times 10^6 \text{ kg suelo}}{\text{ha}} \times \frac{0.2 \text{ gCa}}{1 \text{ cmol}_c\text{ Ca}} \times \frac{100 \text{ gCaCO}_3}{40 \text{ g Ca}} \times \frac{0.1 \text{ kg CaCO}_3}{100 \text{ gCaCO}_3} \times \frac{1 \text{ t CaCO}_3}{1000 \text{ kg CaCO}_3}$$

$$\text{CaCO}_3(\text{t ha}^{-1}) = \frac{1.125 \text{ t CaCO}_3}{\text{ha}}$$

$$\text{Cal agrícola} = \frac{1.125 \text{ t CaCO}_3}{\text{ha}} \times \frac{1 \text{ t cal agrícola}}{0.9 \text{ t CaCO}_3} \times \frac{100}{100} = 1.25 \text{ t ha}^{-1}$$

Se debe aplicar al voleo 1.25 t ha⁻¹ de cal agrícola 20-30 días antes de la siembra y luego se debe incorporar hasta 10 cm de profundidad. Para que la reacción de la cal ocurra el suelo debe estar húmedo.

Requerimientos de cal basado en la saturación de Al

$$\text{Calcio requerido para encalar (cmol}_c\cdot\text{kg}^{-1}) = 1.5 [\text{Al} - \text{RAS}(\text{Al} + \text{Ca} + \text{Mg})]$$

- RAS = saturación de Al crítica, expresado como fracción (valores de 0 a 1) (RAS del 25% se usa 0.25).
- Al, Ca y Mg = extraídos con KCl 1M (cmol_c·Kg⁻¹) [originalmente las unidades fueron meq/100 g suelo].
- 1.5 = es un factor de corrección como se explicó anteriormente.
En suelos con contenidos muy altos de materia orgánica (>10%) se recomienda utilizar un factor de corrección de 2.0, con el cual no solo se corrige por la baja reactividad de la cal sino también por la capacidad buffer de la materia orgánica.

Requerimientos de cal basado en la saturación de Ali

CUADRO 6.5. Para un Oxisol con las siguientes características pH=4.5, Ali=2.0 cmol_c kg⁻¹ (KCl 1 M), Ca, Mg y K= 0.6, 0.4, 0.01 cmol_c kg⁻¹ (acetato de amonio 1 M, respectivamente; profundidad 20 cm y Dap= 1.0 Mg m⁻³. La cantidad de cal agrícola (pureza 95%) requerida para sembrar maní (RAS 40% → 0.4), con un uso efectivo del terreno del 70% será:

$$\text{Calcio requerido (cmol}_c \text{ kg}^{-1}) = 1.5 [\text{Al} - \text{RAS}(\text{Al} + \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K})]$$

$$\text{Calcio requerido (cmol}_c \text{ kg}^{-1}) = 1.5 [2.0 - 0.4 (2.0 + 0.6 + 0.4 + 0.01)] = 1.2$$

$$\text{CaCO}_3 (\text{t ha}^{-1}) = \frac{1.2 \text{ cmol}_c \text{ Ca}}{\text{kg suelo}} \times \frac{2.0 \times 10^6 \text{ kg suelo}}{\text{ha}} \times \frac{0.2 \text{ g Ca}}{1 \text{ cmol}_c \text{ Ca}} \times \frac{100 \text{ g CaCO}_3}{40 \text{ g Ca}} \times \frac{0.1 \text{ kg CaCO}_3}{100 \text{ g CaCO}_3} \times \frac{1 \text{ t CaCO}_3}{1000 \text{ kg CaCO}_3}$$

$$\text{CaCO}_3 (\text{t ha}^{-1}) = \frac{1.2 \text{ t CaCO}_3}{\text{ha}}$$

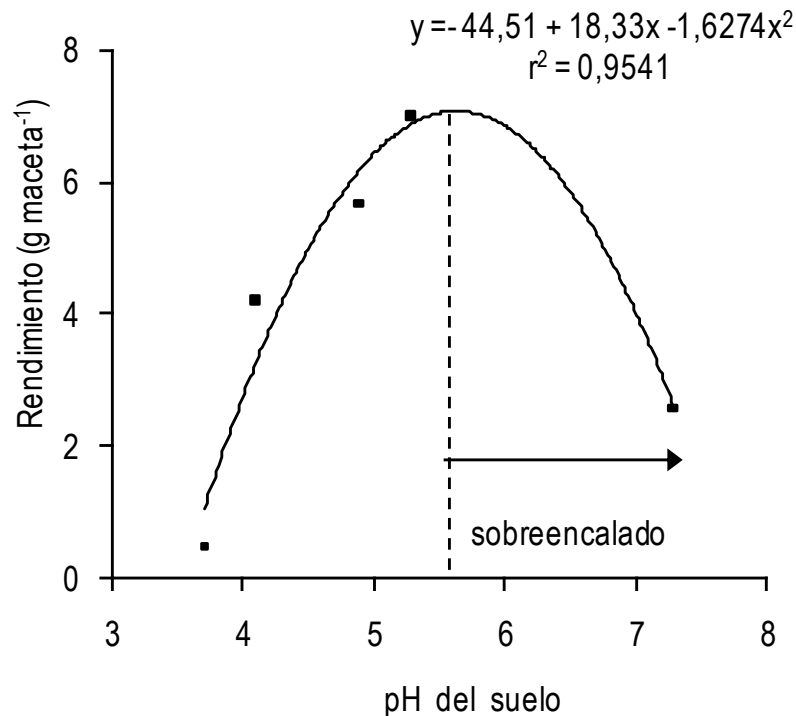
$$\text{Cal agrícola} = \frac{1.2 \text{ t CaCO}_3}{\text{ha}} \times \frac{1 \text{ t cal agrícola}}{0.95 \text{ t CaCO}_3} \times \frac{70}{100} = 0.88 \text{ tha}^{-1}$$

Sobreencalamiento

- Exceso en la dosis de cal que trae consecuencias negativas en el desempeño vegetal

Sobreencalamiento

- Exceso en la dosis de cal que trae consecuencias negativas en el desempeño vegetal



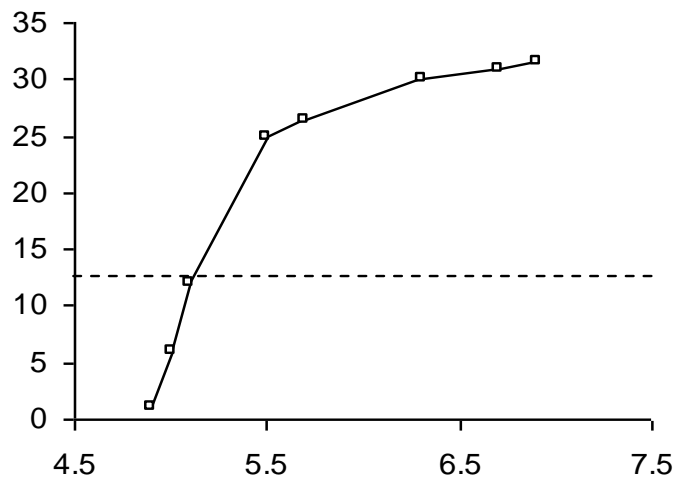
Efecto del pH de un suelo sulfato ácido (Typic Sulfaquept encalado con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sobre el crecimiento de avena

Sobreencalamiento

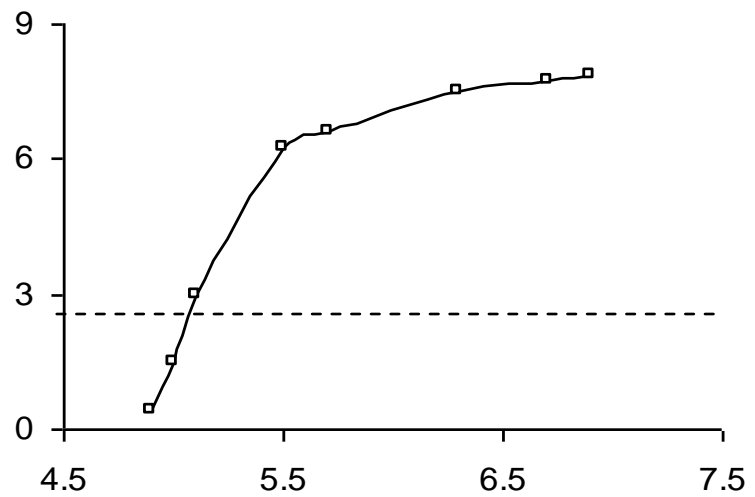
- $\text{Ca}^{2+} + \text{HPO}_4^{2-} \leftrightarrow \text{CaHPO}_4$ (insoluble)
- $\text{Fe}^{3+} + 3\text{OH}^- \leftrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3$ (insoluble)
- $\text{Mn}^{4+} + 4\text{OH}^- \leftrightarrow \text{Mn}(\text{OH})_4$ (insoluble)
- $\text{Cu}^{2+} + 2\text{OH}^- \leftrightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2$ (insoluble)
- $\text{Zn}^{2+} + 2\text{OH}^- \leftrightarrow \text{Zn}(\text{OH})_2$ (insoluble)

Sobreencalamiento

Ca (cmol_c kg⁻¹)

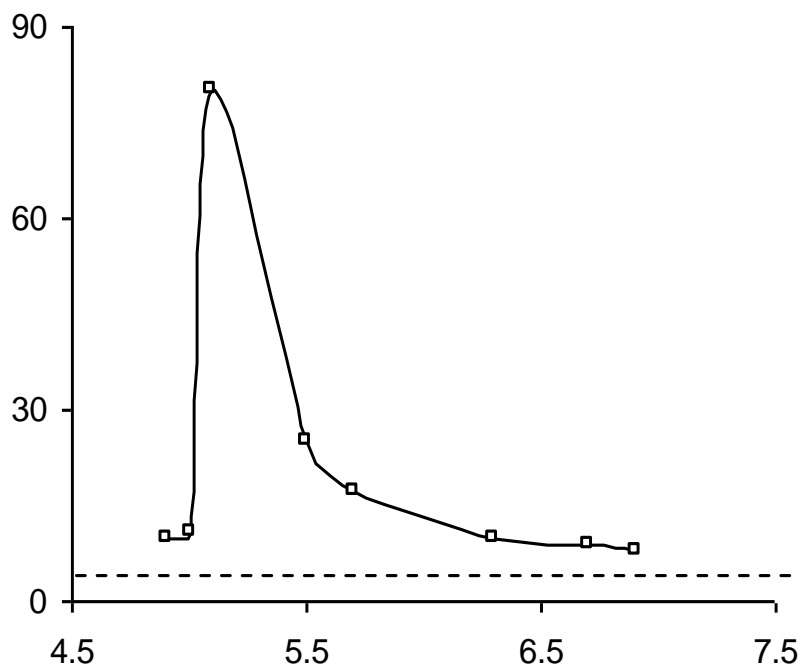


Mg (cmol_c kg⁻¹)

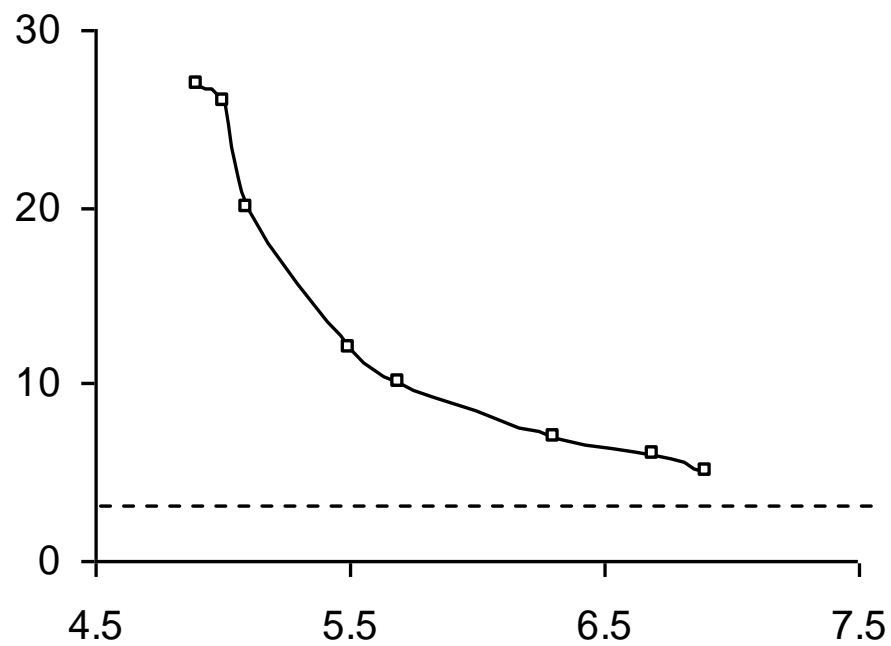


Sobreencalamiento

Zn (mg kg^{-1})

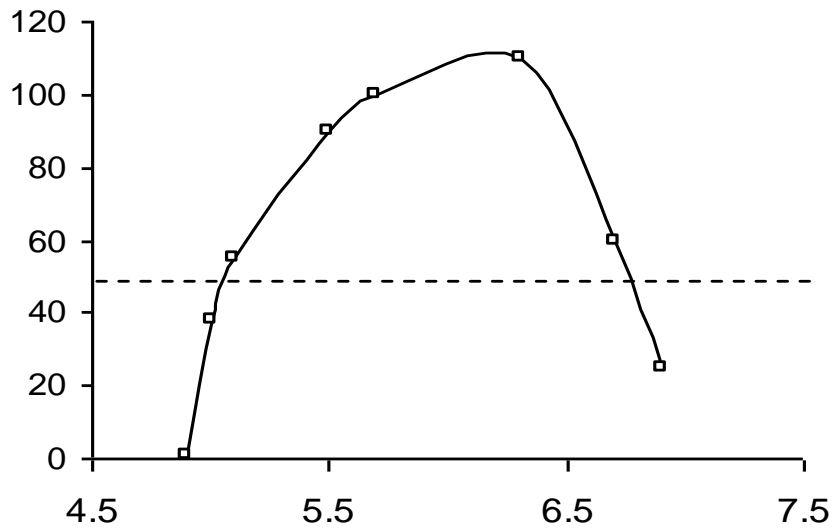


Cu (mg kg^{-1})

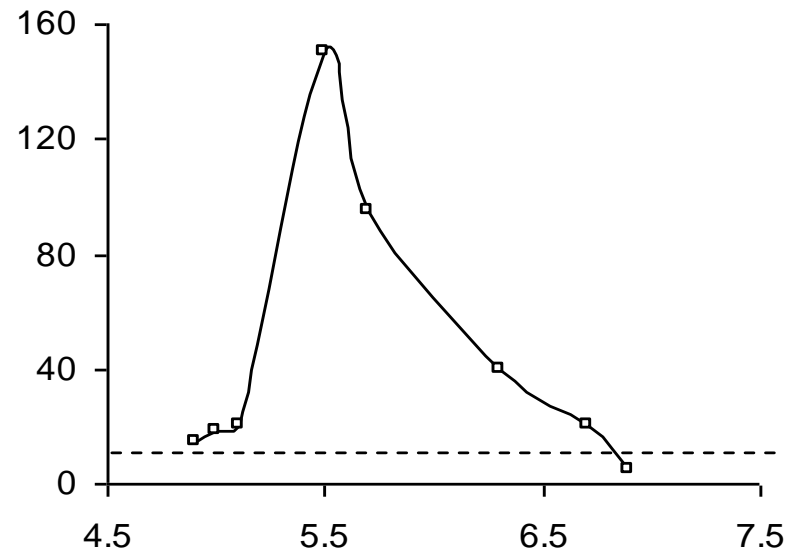


Sobreencalamiento

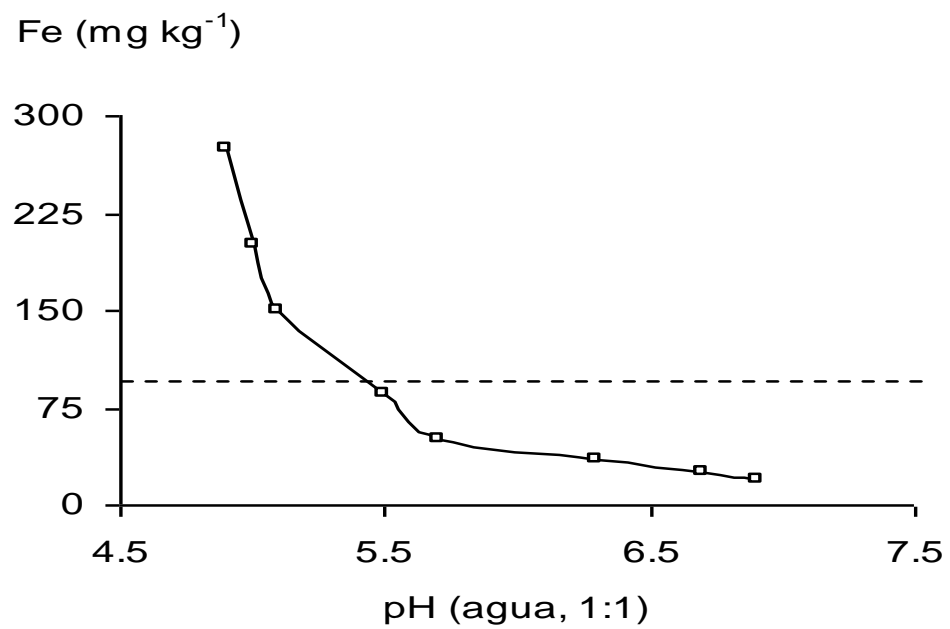
P-Olsen (mg kg^{-1})



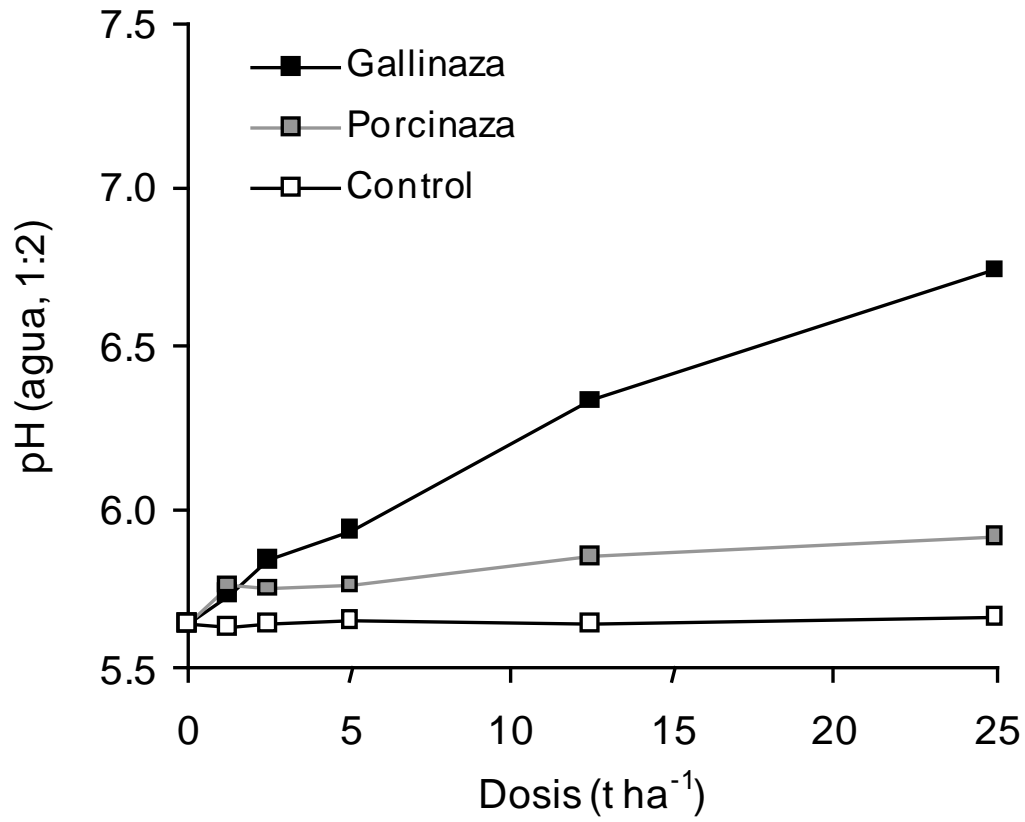
Mn (mg kg^{-1})



Sobreencalamiento

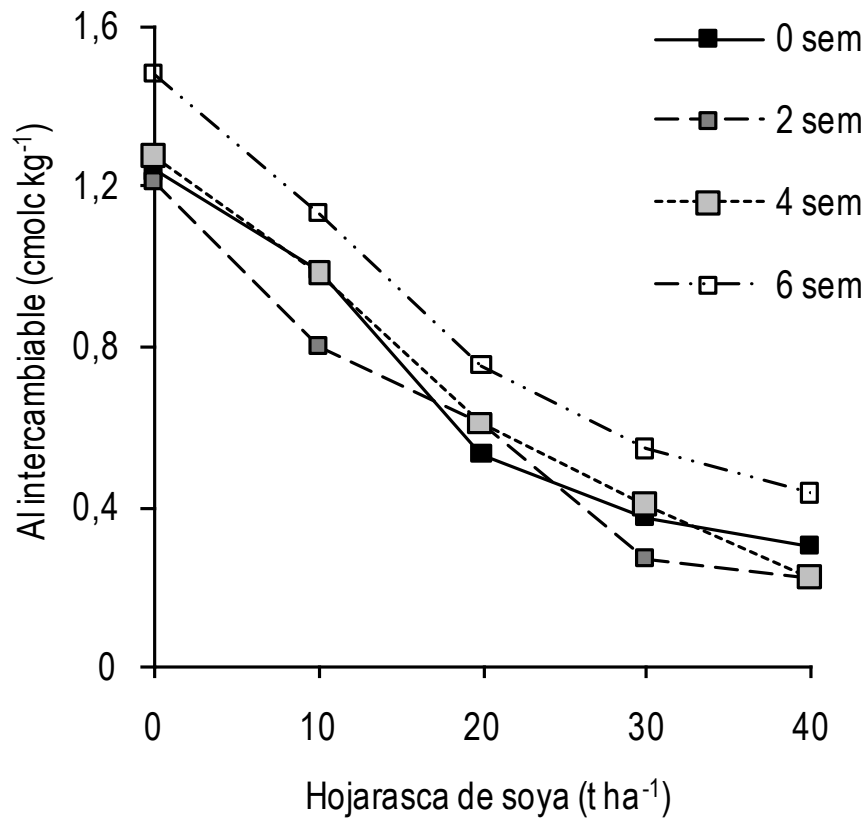


Uso de enmiendas orgánicas para manejar la acidez



Efecto de la aplicación de dos materiales orgánicos compostados sobre el pH de un Oxisol

Uso de enmiendas orgánicas para manejar la acidez



Efecto de la dosis de hojas de soya sobre el Al intercambiable en un Oxisol de Brasil incubado por diferentes períodos (semanas).

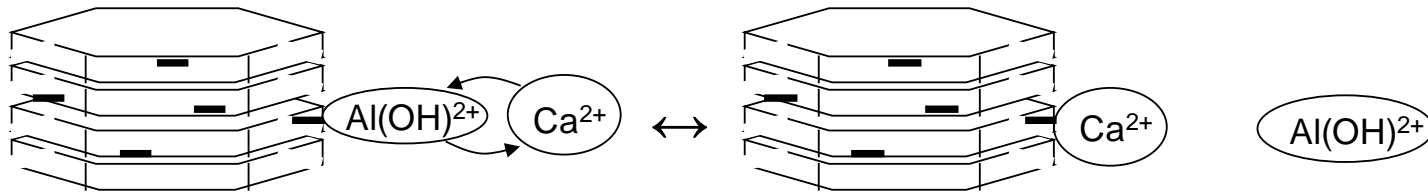
Uso de yeso como enmienda para suelos ácidos

Reacciones del yeso agrícola

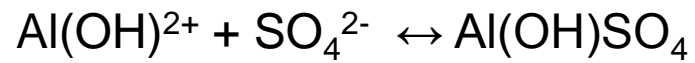
DISOLUCIÓN



INTERCAMBIO



PRECIPITACIÓN

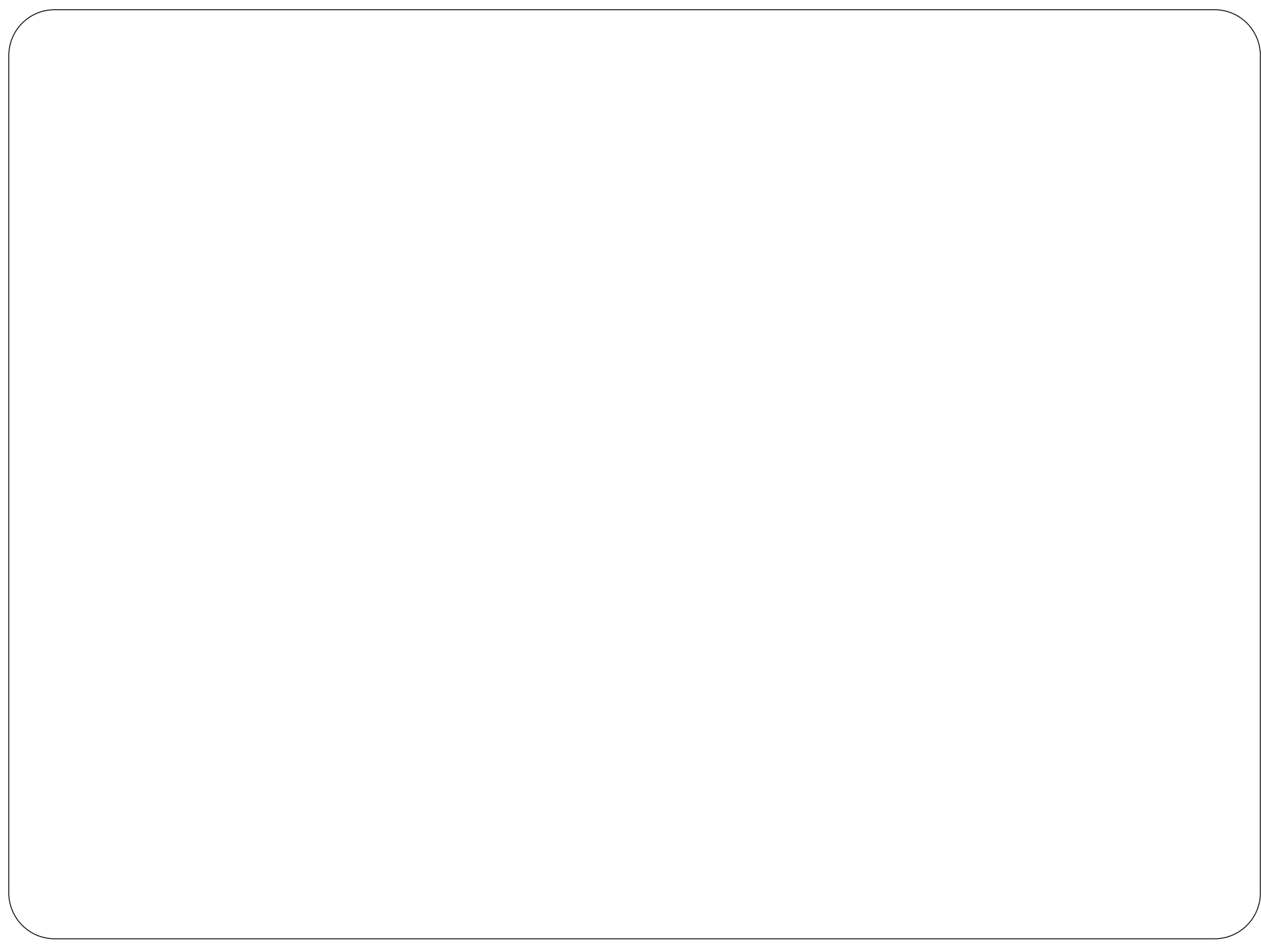


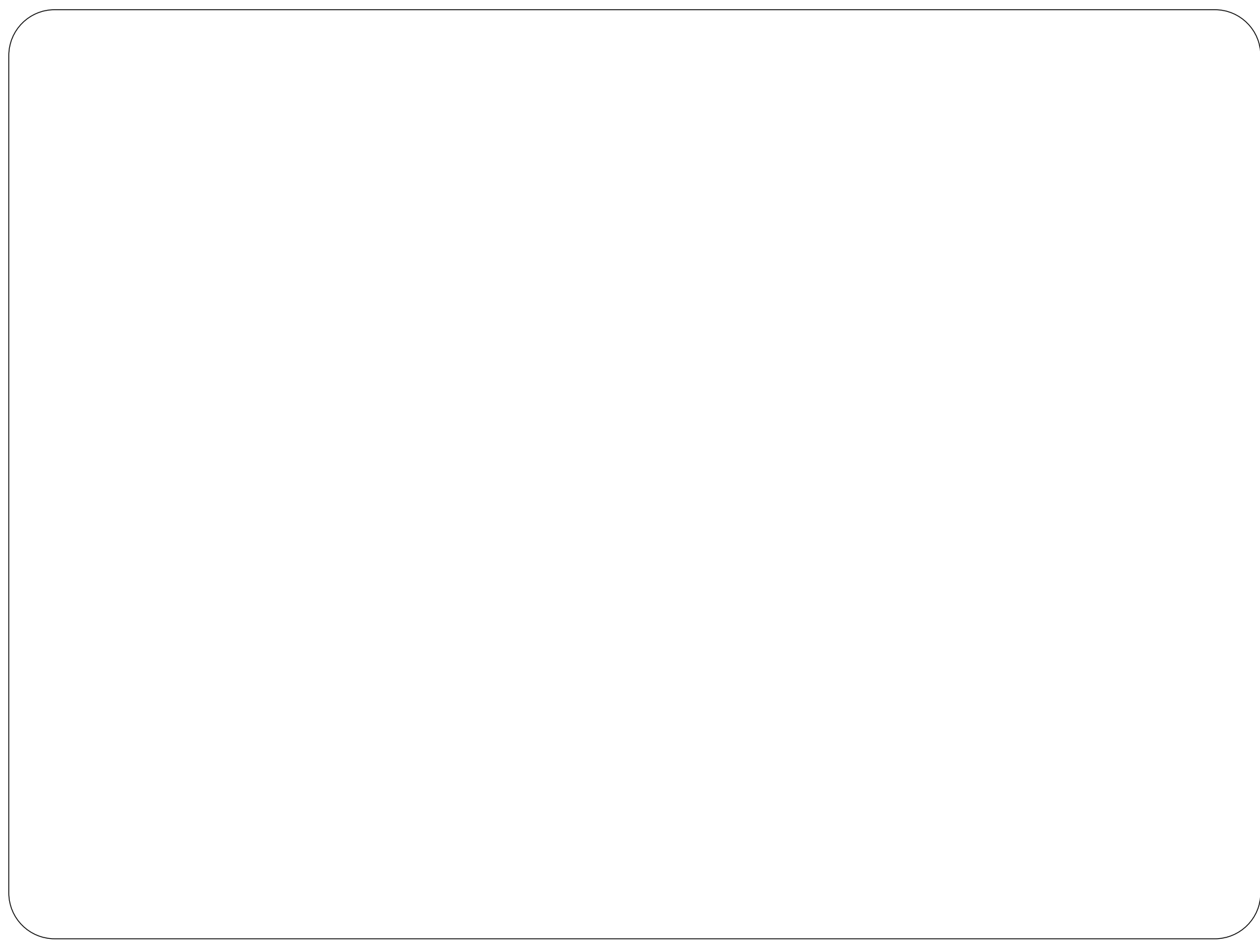
Conclusiones

- Los suelos ácidos abundan en el trópico y particularmente en Colombia.
- En los suelos ácidos, adicionalmente al bajo pH, existen
 - Excesos de Al y/o Mn
 - Deficiencias de Ca, Mg y H_2PO_4
- El diagnóstico se hace a través del análisis de suelos, en el cual se detectan los factores edáficos que limitarían la productividad vegetal.

Conclusiones

- Existen métodos para estimar los requerimientos de cal
- Los métodos deben ser calibrados con los suelos y cultivos en cuestión
- Sobresalen por su simplicidad y viabilidad los métodos basados en la incubación con cal y los niveles de Ali (saturación de Ali).
- Existe la posibilidad de sobreencalar el suelo, lo que trae perjuicios sobre el cultivo
- Las enmiendas orgánicas también podrían ser empleadas para el manejo de los suelos





Diagnóstico de la acidez del suelo ...

- Al intercambiable $> 2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (meq / 100 g suelo)
- Café $> 1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$

Extensión de suelos ácidos en el trópico

- Suelos ácidos con niveles de Al potencialmente tóxicos es de 1493 millones de ha (32 %)
- Suelos ácidos que NO presentan toxicidad potencial por Al es de 1160 millones de ha (25 %)
- El área total de suelo afectada por la acidez representa el 57% de los trópicos
- *Sabanas ácidas* y el *trópico húmedo* el porcentaje de suelos ácidos con niveles altos y bajos de Al son 56 y 18 %, respectivamente
- En el *trópico semiárido* 13 y 29 %
- En las *laderas tropicales* 29 y 16 % y en los *humedales tropicales* 4 y 29 %, respectivamente