



ELEMENTOS TÉCNICOS CLAVES EN EL MANEJO DE LOS SUELOS ÁCIDOS DE LA REGION ANDINA

Septiembre 2025

Secretaría técnica

Solidaridad

SALUD DEL SUELO

El concepto de salud del suelo se relaciona con las características biológicas, químicas y físicas que son esenciales para una productividad agrícola sostenible a largo plazo con un mínimo impacto ambiental.

“Un SUELO sano genera una planta sana, y esta no será atacada por plagas pues en la naturaleza “plaga” es un gran indicador de que en aquel SUELO falta algo, y por tanto, la planta no esta bien nutrida.”

Ana Primavesi 1990.

SALUD DEL SUELO

La acidez de los suelos constituye un problema de importancia en la producción agrícola.

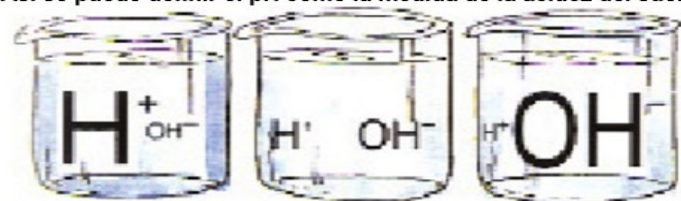
La acidez (H^+) y la acidez intercambiable (Al^{+++}) afecta de una forma muy particular y determinante algunas de las características químicas y biológicas del suelo, de modo que en general, reduce el crecimiento de las plantas, ocasiona la disminución de la disponibilidad de algunos nutrientes como calcio, magnesio, potasio y fósforo; y favorece la proliferación de elementos tóxicos para las plantas como el aluminio y el manganeso.

Acidez y Nutrición en Café



Acidez del suelo

Así se puede definir el pH como la medida de la acidez del suelo.



pH

Naturaleza Tropical

0-6

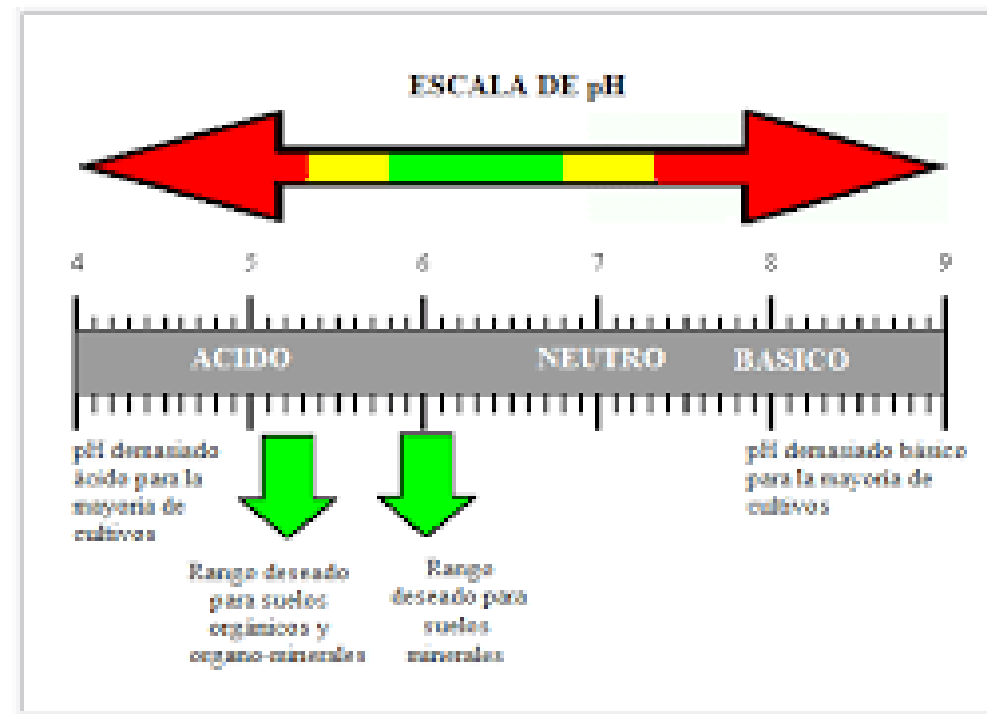
Ácido

7

Neutro

8-14

Básico



ORIGEN DE LA ACIDEZ DEL SUELO

INTERACCIÓN ENTRE:

Suelo

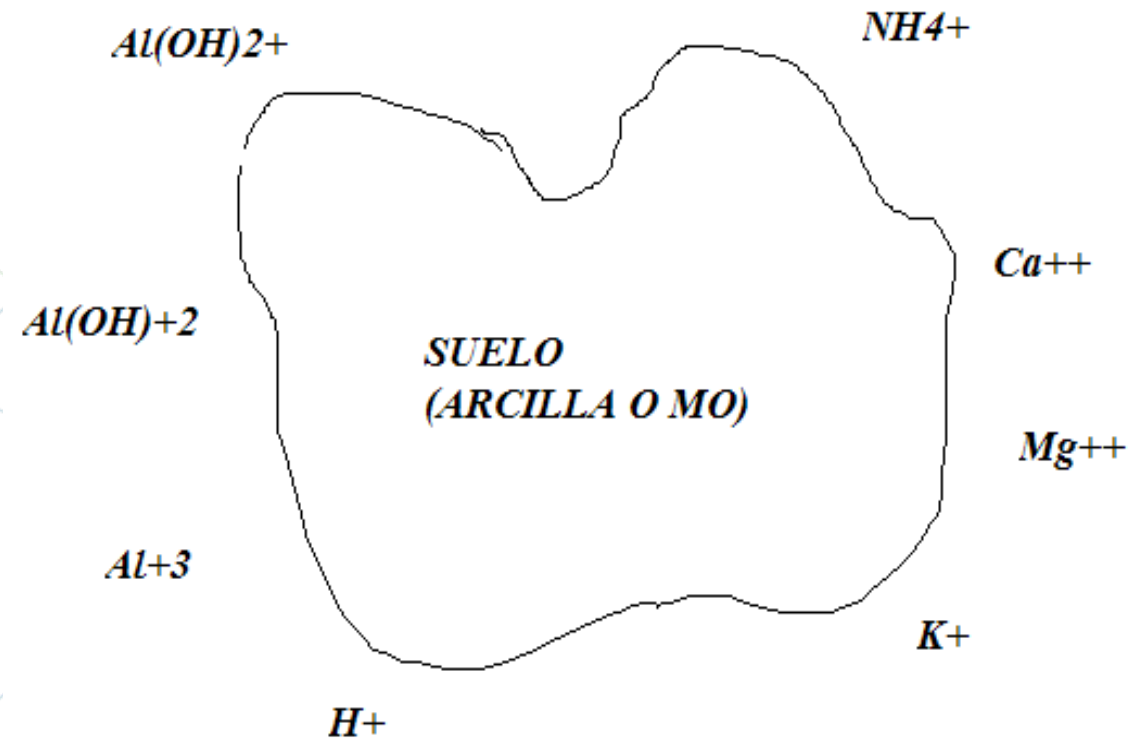
Planta

Agua

Fertilización



ANDISOLES Alofanas



CATIONES EN EL SUELO



Suelo

Acidificación por residuos orgánicos.

Mineralización, durante este proceso se forma una gran cantidad de sustancias no húmicas, componentes de los restos orgánicos como carbohidratos, aminoácidos, grasas, ligninas, taninos, etc.

Lo característico de este proceso inicial es que acidifica el medio durante el tiempo que sucede esta descomposición.

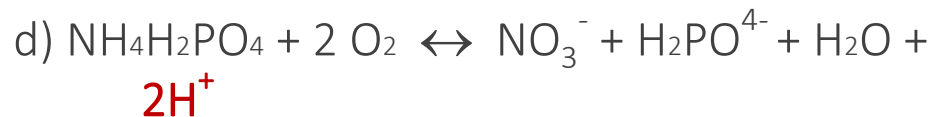
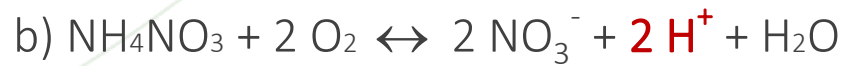


Fertilización



Fertilizantes Nitrogenados:

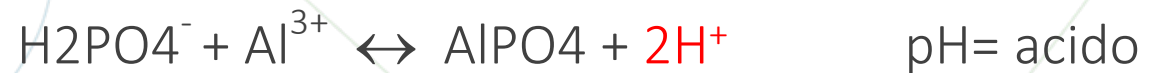
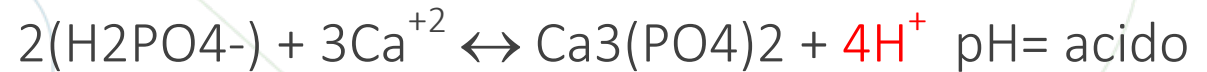
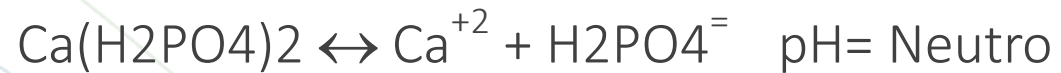
Las siguientes son reacciones de fertilizantes nitrogenados asociadas a la producción de acidez en el suelo:



Acidificación por fertilizantes Fosfatados:

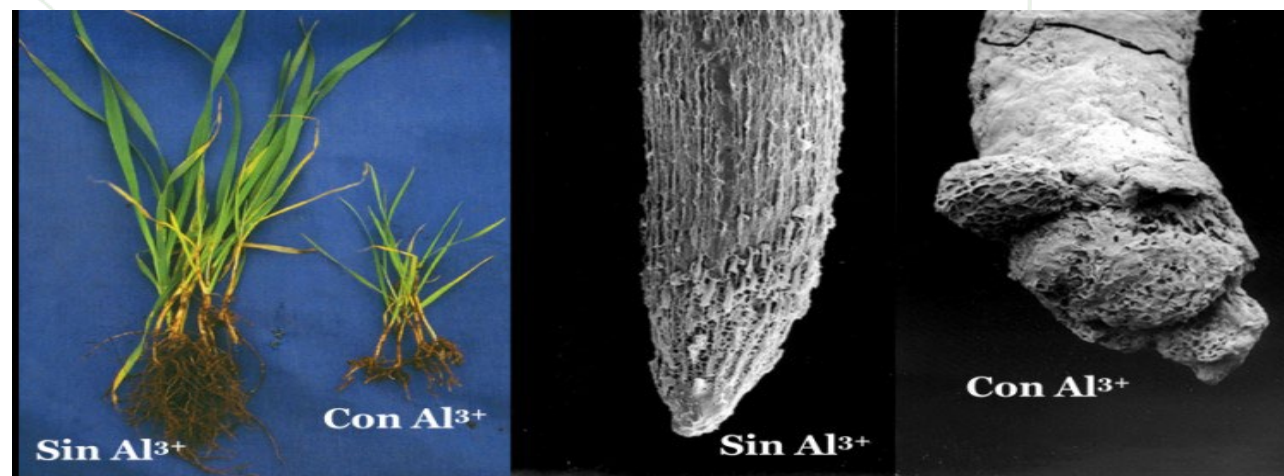
Los fertilizantes fosfatados pueden producir acidez en períodos largos de tiempo.

Ej: TSP ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$)



Que es acidez?

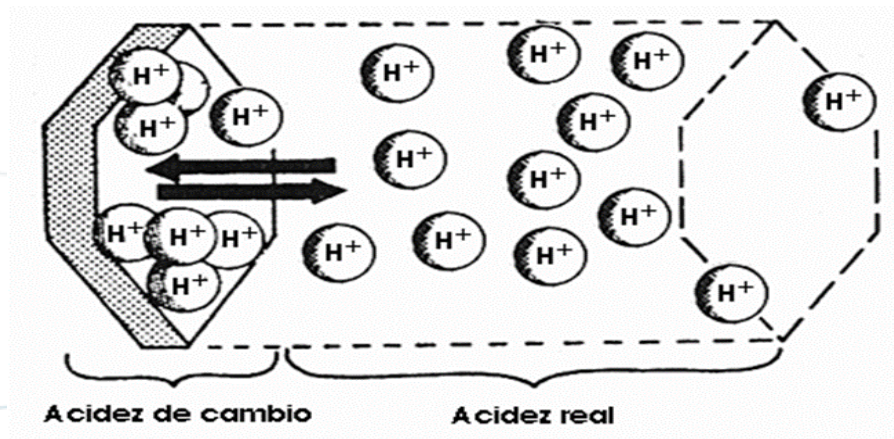
La acidez es la cantidad de iones H^+ que existe en el suelo y su relación con los demás cationes y la acidez intercambiable es la cantidad de Al^{+++} (por su naturaleza es fitotoxico) que esta en el suelo en forma soluble que a su vez por el proceso de hidrolisis genera mas H^+



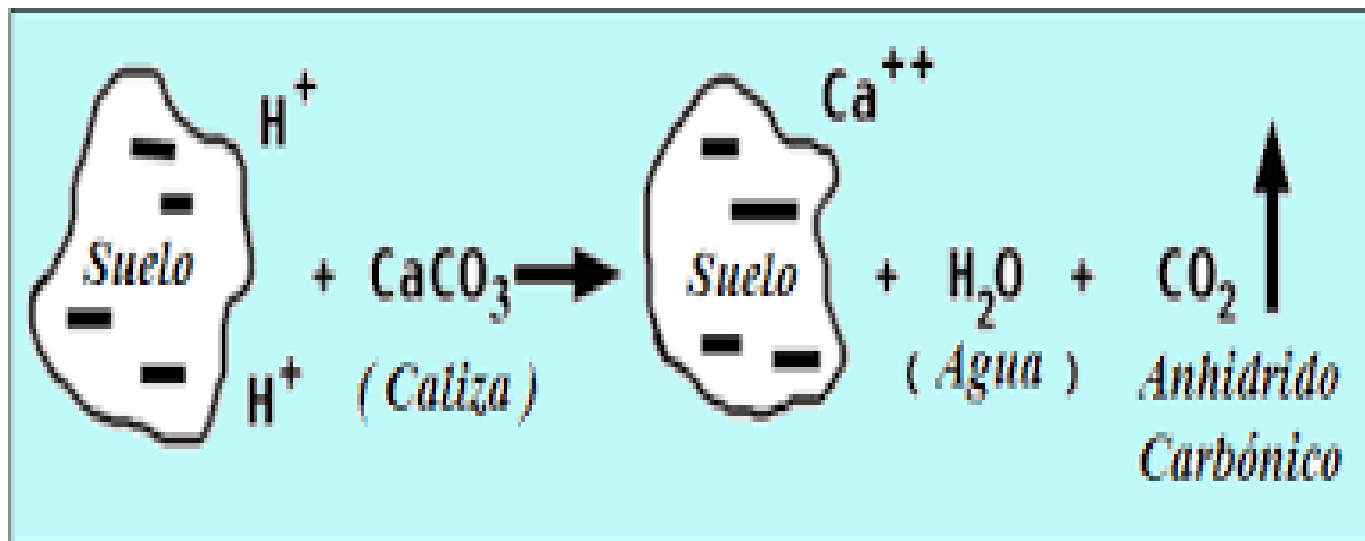
En los cultivos de la zona cafetera es poco frecuente el uso de practicas que estén enfocadas a minimizar el efecto adverso que tiene la acidez del suelo y sus repercusiones en la cantidad y calidad de la producción agrícola.

La practica mas eficaz para contrarrestar este efecto es el uso de enmiendas o correctivos del suelo, practica tan antigua como la agricultura en el mundo.





NEUTRALIZACION DE ACIDEZ



Después de tomar la decisión de hacer enmienda que factores debemos tener en cuenta?

Fuentes

Pureza o valor químico

Formula química

Tamaño de particula

Poder relativo de neutralización total

Método y epoca de aplicación



a) Arcillas calcáreas

Son depósitos no consolidados de CaCO_3 , conocidos también como margas, de textura arcillosa y con gran cantidad de impurezas. Por lo general, este material se maneja en húmedo lo que disminuye su eficiencia.

b) Cal agrícola - CaCO_3

Es el material más utilizado para encalar los suelos. Está compuesto en su mayoría por carbonatos de calcio con muy poco magnesio. Se obtiene a partir de la roca caliza, la cual es molida y pasada por mallas de diferentes tamaños. En su forma pura contiene 40% de Ca.

c) Cal dolomítica - $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

La dolomita pura contiene 21.6% de Ca y 13.1% de Mg. Aunque este material reacciona más lentamente en el suelo que el carbonato de calcio, tiene la ventaja de que suministra Mg, el cual es un elemento que con frecuencia se presenta también deficiente en suelos ácidos.



d) Oxido de calcio CaO

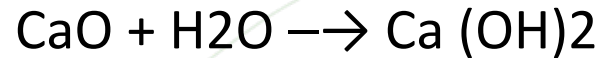
Es el producto obtenido de la calcinación total del carbonato de calcio a una temperatura aproximada a 1000 °C.



Se conoce como cal viva o cal quemada. Es un material muy cáustico y de manejo difícil porque puede causar quemaduras al contacto con la piel. Su velocidad de reacción es mayor que el carbonato debido a su mayor concentración de Ca (71% en su forma pura)

e) Hidróxido de calcio Ca(OH)₂

Se obtiene a partir de la reacción del óxido de calcio con agua:



Se conoce como cal apagada o hidratada y es la forma en que se comercializa el CaO producido por calcinación. Luego de sacarlo del horno, lo hidratan y empaican. Es un polvo blanco, con alto grado de solubilidad y de rápida reacción en el suelo. Presenta 54% de Ca en su forma pura.

f) Oxido de Magnesio - MgO

Este es un material compuesto sólo de Mg, en su forma pura contiene 60% de Mg. Es fabricado a partir de la calcinación de la magnesita que produce MgO. Es una fuente excelente en suelos ácidos con problemas de Mg.



g) Escorias industriales

Son residuos de la industria del acero (escorias básicas) y de la fundición de hierro tienen óxidos de calcio pero se debe tener cuidado ya que pueden traer trazas altas de hierro.

h) Yeso

El yeso agrícola o sulfato de calcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) es un subproducto de la industria del ácido fosfórico, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2 \text{H}_3\text{PO}_4 + 3 \text{CaSO}_4$

El yeso también es obtenido de yacimientos o depósitos naturales de evaporitas sedimentaria (Shainberg et al., 1989). Incrementa los contenidos de Ca y S, eleva la capacidad de intercambio catiónico y disminuye el nivel de aluminio intercambiable, su actividad, y su saturación en el complejo de intercambio del suelo (Chaves, 1991).

i) Enmiendas enriquecidas.

contienen silicatos de calcio (CaSiO_3) y silicatos de magnesio (MgSiO_3) adicionadas de fosfatos y azufre que neutralizan la acidez del suelo a través de la hidrólisis del ión silicato (SiO_3). Que capturan el ion H^+ y además adicionan al suelo Ca, Mg, P, S, y Si como nutrientes.

El silicato es una enmienda el silicio es un nutriente.



Silicio en la agricultura

Todas las plantas que crecen en suelo contienen cantidades significativas de Si en sus tejidos.

Las gramíneas y ciperáceas presentan alta acumulación de silicio.

El silicio es el único elemento que no es tóxico para las plantas; no provoca daños cuando está acumulado en exceso, debido a sus propiedades de no disociarse a pH fisiológico (Álvarez y Osorio, 2014).

El silicio soluble (silicato de potasio) aplicado al suelo, consiguió un efecto inhibitorio del 100% sobre el crecimiento micelial, en el manejo de *Phytophthora cinnamomi* en aguacate (*Persea americana* M.) Bekker T.F. et al, (2007)

Gatarayiha y Laing (2011), asumen una posible sinergia entre *Beauveria bassiana* (Bals) y el elemento silicio para el control de araña roja (*Tetranychus urticae* Koch) en berenjena.

Kablan et al (2012), demostró que el silicio podía ayudar a manejar la sigatoka negra en banano.



Pureza o valor químico

VALOR DE NEUTRALIZACION

Se refiere al poder que tiene una cal para neutralizar la acidez cuando se le compara con CaCO_3 del 100% de pureza. Ejemplo: El MgCO_3 tiene un valor de neutralización de 116. Esto significa que 100 unidades de dicha cal neutralizan la misma acidez que 116 unidades de CaCO_3 .

CAL	PESO MOLECULAR	PESO EQUIVALENTE	VALOR DE NEUTRALIZACION
CaO	56	28	178
CaOH ₂	74	37	135
CaCO ₃	100	50	100
MgCO ₃	86	43	116
CaMg(SiO ₃) ₂	123		110

Forma química

Con base en las diferentes formas químicas existentes, se presentan también diferentes capacidades de neutralización y reactividad.

Los productos a base de silicatos y carbonatos neutralizan la acidez a través de sus bases químicas CO_3^{2-} y SiO_3^{2-} , las cuales son débiles.

En tanto que los óxidos reaccionan inmediatamente con el agua del suelo transformándose en hidróxidos, por lo cual los óxidos e hidróxidos neutralizan la acidez a través de su base OH^- - que es fuerte, por lo que son de efecto de choque.



Tamaño de partícula

La fineza de las partículas individuales de la enmienda determina su velocidad de reacción. Conforme se reduce el tamaño de la partícula de cualquier material, aumenta su área o superficie de contacto.

Los materiales que son retenidos en tamiz de 8 son inefectivos. Los que pasan este tamiz pero se retienen en tamiz 20 son 20% efectivos pero reaccionan muy poco.

Los que pasan el tamiz 20 pero se retienen en el tamiz 60, son 60% efectivos y pueden reaccionar en un período de 10-18 meses, y todos los que pasan este último tamiz tienen 100% de efectividad y reaccionan entre 3 y 6 meses.

La enmienda que pasa por un tamiz 80 es muy fina y puede reaccionar en 1-3 Meses



Tamaño de la partícula

INCONTEC exige que una caliza para enmienda deberá pasar en su totalidad por el tamiz N° 10 y en un 50% como mínimo por el tamiz N° 100. Esto es, que toda la cal deberá ser menor a 2 mm y el 50% como mínimo deberá ser inferior a 0.15 mm.

<u>N° de malla</u>	<u>Abertura en mm</u>
5	4.00
10	2.00
60	0.25
100	0.15
270	0.05



Poder relativo de neutralización total PRNT

ES LA RELACION ENTRE EL TAMAÑO DE LA PARTICULA Y EL PODER NEUTRALIZANTE DE LA ENMIENDA.

ejemplos: CaCO_3 poder neutralizante 100% en malla 20 20%

$$100 \times 20 / 100 = 20\% \text{PRNT}$$

CaMgSiO_3 poder neutralizante 110% en malla 120 120%

$$110 \times 120 / 100 = 132\% \text{PRNT}$$

Costo por unidad de PRNT = costo unidad/PRNT

ejemplos 1) $5900 / 20 = 290$

2) $10000 / 75 = 133$

3) $24000 / 132 = 181$

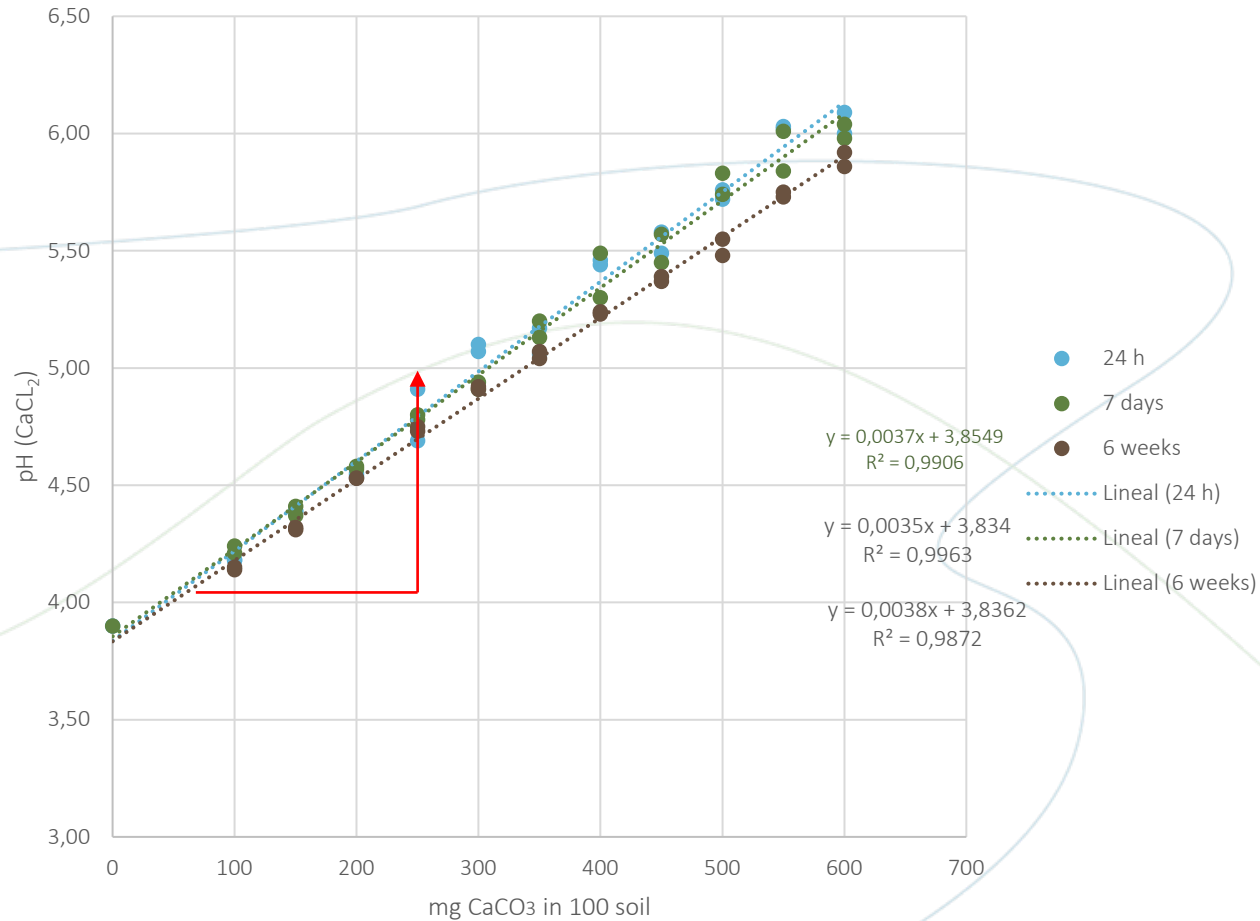
4) $29000 / 220 = 130$



Corregir la acidez no es una tarea tan fácil.



Ejemplo curva de encalado



(Ref. Yara Research Center)

$$pH_{6 \text{ semanas}} = 0,0038(\text{mg CaCO}_3/100 \text{ g Suelo}) + 3,8362$$

$$(5,0 - 3,8362) / 0,0038 = 306 \text{ mg CaCO}_3/100 \text{ g Suelo}$$

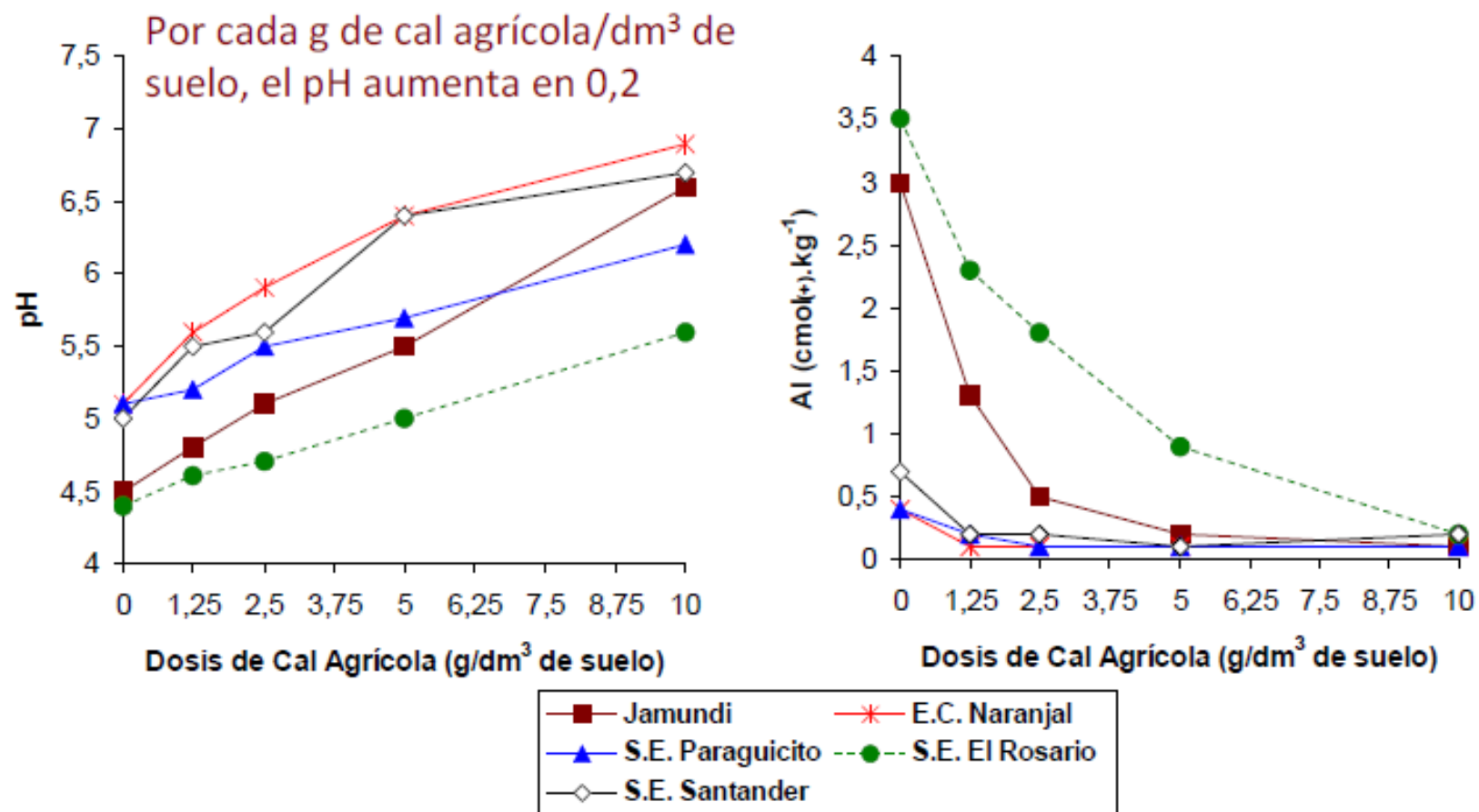
1 hectárea de terreno a 1 cm de profundidad con una Da de 1 g/cm³ pesa 100.000 kg

$$306 \text{ mg CaCO}_3/100 \text{ g de suelo} = 306 \text{ Kg de Cal/ha a 1 cm}$$

Para que llegue a 20 cm de profundidad se necesitan 6.120 kg de CaCO₃/ha = 6,12 ton/ha



Por cada 2,0 ton/ha el pH se incrementa 0,2 unidades



Método y época de aplicación

El método óptimo de aplicación es incorporar la enmienda en los primeros 15-20 cm de suelo (arado o rastrillos); esto es difícil de lograrlo.

En el caso de los perennes la enmienda se aplica al momento de la siembra y en la superficie.

En cultivos perennes con distancias de siembra amplias, la enmienda debe distribuirse en el área de gotera, que es donde se concentran las raíces.



No existen limitaciones en cuanto a la época de aplicación siempre que haya humedad en el suelo y que no coincida con un ciclo de fertilización al suelo.

El contacto directo de la enmienda con fertilizantes nitrogenados amoniacales en la superficie del suelo puede favorecer la formación de carbonato de amonio, el cual a su vez se transforma en amoníaco.



CONSOLIDACION DE LOS CONCEPTOS PARA UNA BUENA ENMIENDA

CONDICIONES DE CLIMA Y SUELO

NATURALEZA QUIMICA DEL MATERIAL

TAMAÑO DE PARTICULA

CULTIVO

INTENSIDAD DEL CULTIVO

DOSIS

TIPOS ENMIENDAS ENRIQUECIDAS O COMPUESTAS



Clima y suelo

Temperatura, humedad, flora del suelo y acidez ayudan a acelerar la reacción de las enmiendas.

Pendientes del terreno pronunciadas aumentan la escorrentía de la enmienda.

La lixiviación de la enmienda es mayor en suelos de textura arenosa.

Los suelos ácidos y de textura arenosa, las enmiendas deben ser mas frecuentes que en suelos arcillosos.



Naturaleza del química del material:

Las bases fuertes como el oxido y el hidróxido tiene un poder fuerte pero a corto plazo y pierden efectividad con lluvias fuerte, mientras que las bases débiles como los silicatos son menos propensos a la lixiviación y de mayor efecto residual.

Tamaño de partícula:

Las partículas mas finas tiene un poder neutralizante mayor pero dura menos tiempo, las partículas entre mallas 20 a 40 reaccionan entre 1 a 3 años, los materiales por debajo de malla 10 no tienen efecto sobre la acidez del suelo.



Dosis:

La dosis de la enmienda esta relacionada con el poder neutralizante, la textura del suelo, el pH del suelo y contenido de Aluminio soluble que tenga este. Gran variedad de factores para tomar una decisión simple como una cal.

Cultivo e intensidad del cultivo:

En cultivos de ciclo corto es importante utilizar bases fuerte con mallas superiores, en cultivos perennes se recomiendan enmiendas con bases débiles y granulometría desde la malla 40 hasta la 120 o mas.

En monocultivos de alta demanda de fertilizantes nitrogenados y fosforados se recomienda evaluar la acidez del suelo por lo menos 1 vez al año.

En Andisoles de pendiente pronunciada, de alta precipitación y de textura arenosa, por lo regular se debe hacer una enmienda anual, preferiblemente ***con productos compuestos o enriquecidos.***



ENMIENDAS ENRIQUECIDAS O COMPUESTAS

Con la evolución de los años se ha avanzado en la generación de nuevas enmiendas, las primeras son aquellas que son de una sola fuente (óxidos, hidróxidos y carbonatos), las segundas son aquellas que provienen de una mezcla de fuentes y minerales que cumplen la función fundamental de neutralizar la acidez del suelo y al mismo tiempo aportan elementos para el balance catiónico de este y nutrientes de mediana disponibilidad para la planta, como Calcio, Magnesio, Fosforo, Azufre Y Silicio.



En cultivos perennes este tipo de producto mas una molienda fina de este, proporciona una buena alternativa para hacer que estas enmiendas penetren en el perfil del suelo bajen hasta la zona de mayor crecimiento radicular, neutralicen la acidez y aporten nutrientes al suelo.



Que son los silicatos



Clasificación de los silicatos

Nesosilicatos



SiO₄
(Si/O = 1:4 = 0,25)

Estructura cristalina formada por tetraedros sencillos separados por cationes metálicos.

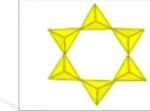
Sorosilicatos



Si₂O₇
(Si/O = 2:7 = 0,29)

Estructura cristalina formada por dos tetraedros de silicato que comparten uno de los oxígenos de un vértice.

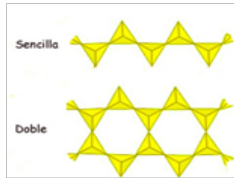
Ciclosilicatos



Si_nO_{3n}
(Si/O = 1:3 = 0,33)

Estructura cristalina formada por la unión de tres, cuatro o seis tetraedros.

Inosilicatos



Cadena sencilla:

Si₂O₆

(Si/O = 1:3 = 0,33)

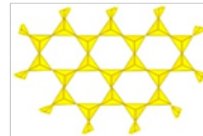
Cadena doble:

Si₄O₁₁

(Si/O = 4:11 = 0,36)

Estructura cristalina formada por grupos de tetraedros unidos entre sí, dando lugar a cadenas sencillas (piroxenos) o dobles (anfíboles), de estructura abierta o cerrada.

Filosilicatos



Si₄O₁₀

(Si/O = 4:10 = 0,40)

Estructura cristalina formada por tetraedros unidos que dan lugar a anillos hexagonales formando capas reflejándose la estructura en el mineral.

Tectosilicatos



Si_{n-x}Al_xO_{2n}

(Si/O = 1:2 = 0,50)

Son los silicatos de estructura más compleja. Estructura cristalina formada por tetraedros que configuran una red tridimensional en la que cada oxígeno es compartido por dos átomos de silicio.



Que son los silicatos

Es fundamental tener presente que NO todas las fuentes de silicatos que comercialmente se ofrecen como fuentes de silicio presentan una disponibilidad real del silicio (como ácido orto silícico) para las plantas, ya que existen 6 tipos de silicatos:

1. Nesosilicatos - Permiten la liberación del silicio para que sea disponible para las plantas (Olivino).
2. Inosilicatos - Permiten la liberación del silicio para que sea disponible para las plantas (Wollastonita)
3. Filosilicatos - Permiten la liberación del silicio para que sea disponible para las plantas (Serpentina).
4. Sorosilicatos - Bajo ciertas condiciones pueden llegar a permitir la liberación del silicio para que sea disponible para las plantas.
5. Ciclosilicatos - NO Permiten la liberación del silicio.
6. Tectosilicatos - NO Permiten la liberación del silicio (Cuarzo, Feldespatos, feldespatoides, escapolitas y Zeolitas)



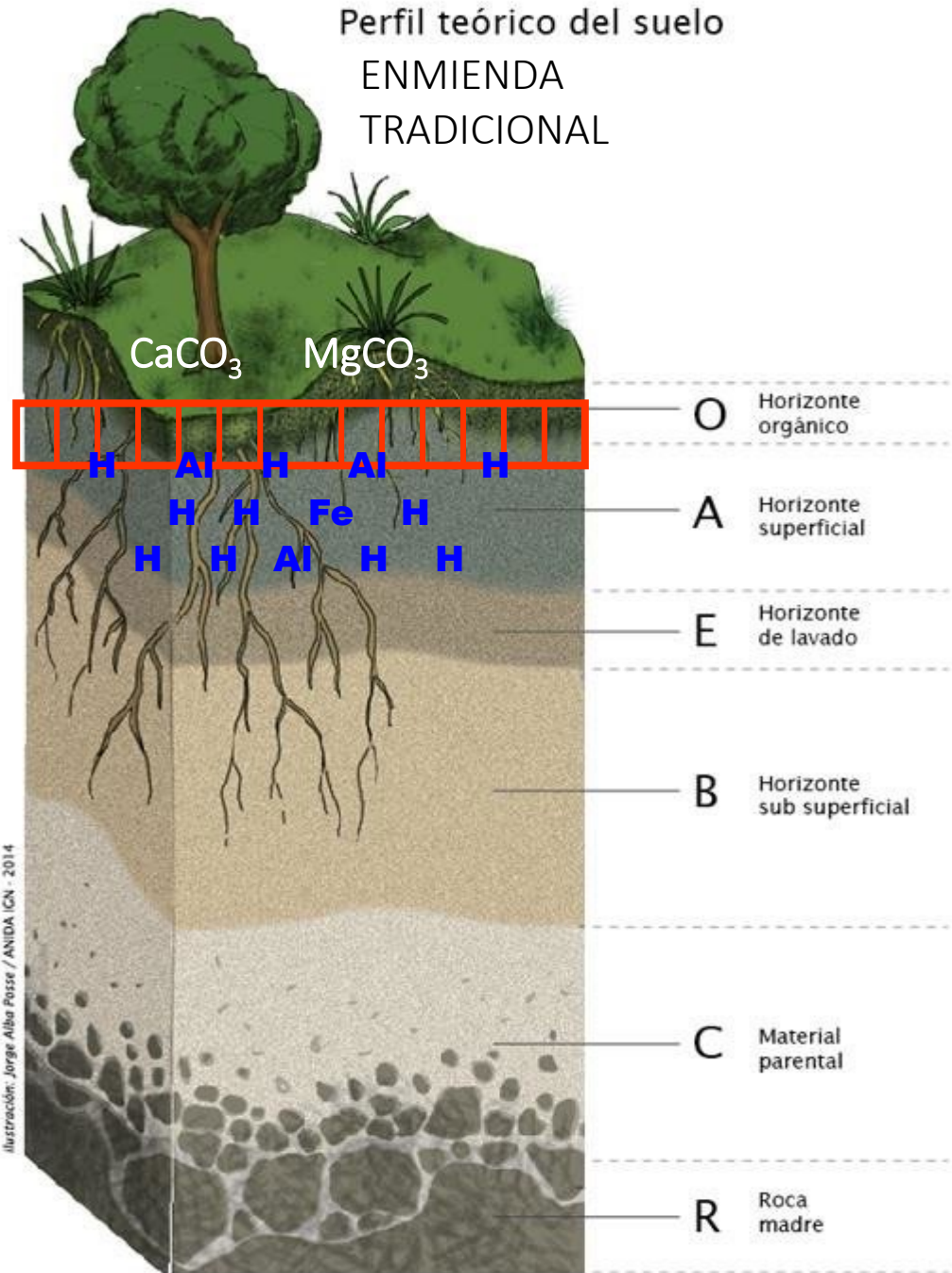
Beneficios del silicio

Según Primavesi 1984, Bernal 2,012 y Caicedo y Chavarriaga 2,008 al Silicio se le ha relacionado con las siguientes características en la agricultura:

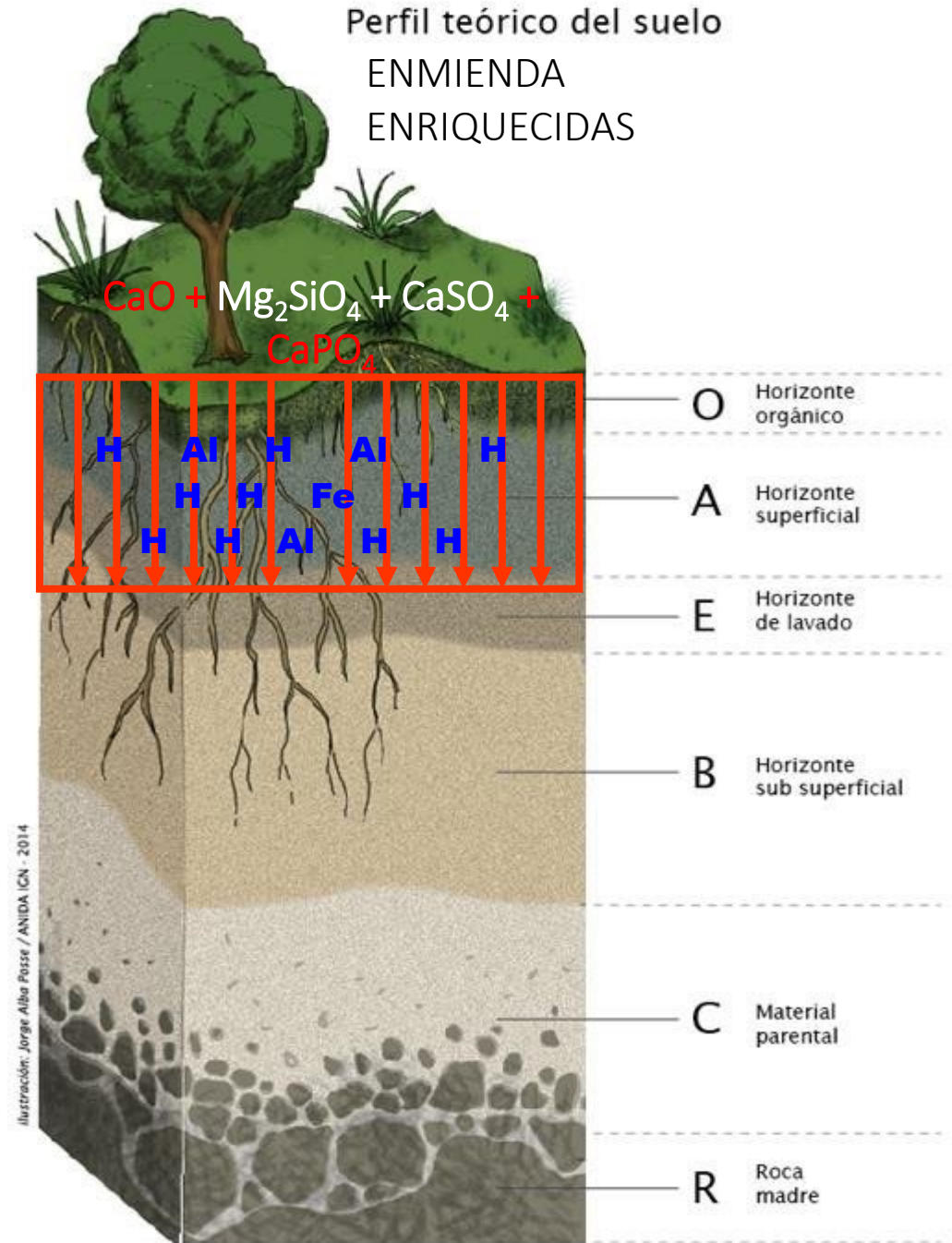
- Resistencia de la planta a enfermedades fungosas
 - Disminución de ataque de insectos
 - Mantenimiento de hojas y tallos erectos (resistencia al vuelco)
 - Eficiencia en el uso del agua
 - Incremento en los rendimientos del cultivo
 - Translocación del fósforo
-
- ✓ El silicio se acumula en los tejidos de todas las plantas, representando entre el 0,1% y el 10% de la materia seca (Cruiscol, 2,008)
 - ✓ Hojas más fuertes (Bernal, 2,012)
 - ✓ Menor incidencia de enfermedades (Bernal, 2,012)
 - ✓ Tolerancia a estrés hídrico y temperaturas extremas (Quero, 2,008)
 - ✓ Mayor resistencia a las plagas y enfermedades (Quero, 2,008)



Perfil teórico del suelo ENMIENDA TRADICIONAL















Perfil teórico del suelo ENMIENDA ENRIQUECIDAS



RELACION ENTRE pH y DISPONIBILIDAD DE LOS NUTRIENTES

Esto significa que subir medio punto de pH (0.5), puede aumentar la eficiencia de los fer en 50% ...

EFICIENCIA DE LOS FERTILIZANTES SEGÚN ACIDEZ DEL SUELO

ACIDEZ DEL SUELO	EFICIENCIA			PROMEDIO DE FERTILIZANTE DESPERDICIADO
	NITROGENO	FOSFATO	POTASIO	
Extremadamente ácido 4.5 pH	 30%	 23%	 33%	71.33%
Muy Fuertemente ácido 5.0 pH	 53%	 34%	 52%	53.67%
Fuertemente ácido 5.5 pH	 77%	 48%	 77%	32.67%
Medianamente ácido 6.0 pH	 89%	 52%	 100%	19.67%



BIBLIOGRAFIA

- ALCARDE, J.C. 1988. Contraditória, confusa e polemica : é a situacao do uso do gesso na agricultura. Informacoes Agronomicas. POTAFOS 41:1-3
- ALCARDE, J.C. 1992. Corretivos da acidez dos solos: características e interpretacoes técnicas. ANDA, Sao Paulo, Brasil. Boletim Técnico Nº 6. 26 p.
- BARBER, S. 1984. Liming materials and practices. In Soil Acidity and Liming. Ed. por F. Adams, Wisconsin, ASA p. 171 - 209.
- BERTSCH, F. 1986. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica. San José, Universidad de Costa Rica. 86 p.
- BERTSCH, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, Costa Rica. ACCS. 157 p
- MOLINA, Eloy. Centro de investigaciones agronómicas, Costa Rica, ACCS.





Secretaría técnica

Solidaridad