



ACIDEZ DEL SUELO

*Oscar Piedrahíta
Junio 2009*

Introducción

El incremento de calcio y magnesio intercambiables y la correspondiente disminución de aluminio intercambiable generan un ambiente apropiado para el crecimiento de las raíces de las plantas y la absorción de nutrientes del suelo. Esto da como resultado un desarrollo más vigoroso de las plantas y cosechas mejores.

Los suelos de las regiones tropicales húmedas se han desarrollado bajo condiciones en las cuales la precipitación excede la evapotranspiración durante la mayor parte del año. Estas condiciones dan lugar a procesos de lixiviación o lavado que han generado un agotamiento gradual de las bases del suelo (tales como Ca, Mg y K) y un desarrollo de la acidez del mismo.

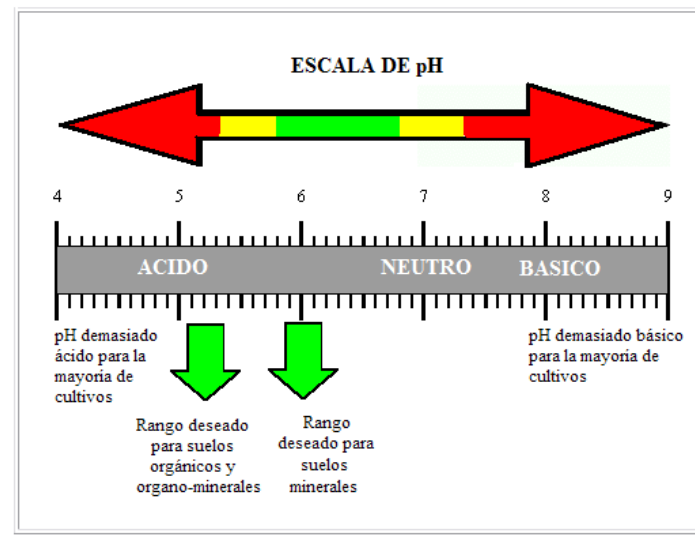
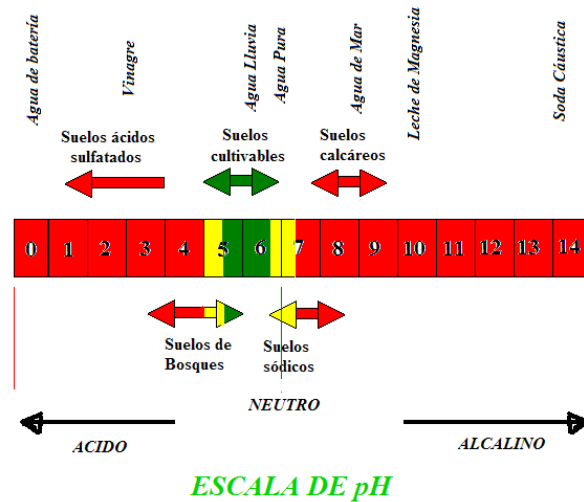
Las arcillas del suelo también contienen a menudo capas de Fe y de Al y estos materiales afectan perceptiblemente la retención y la disponibilidad de los cationes y de los aniones en suelos ácidos.

pH del Suelo

El pH del suelo es una medida de la acidez o de la alcalinidad de la solución del suelo. Por definición, el pH es el negativo del logaritmo de la concentración del ión de hidrógeno $[H^+]$, es decir:

$$pH = - \log[H^+]$$

Se dice que los suelos son ácidos, neutros, o alcalinos (básicos), dependiendo de sus valores de pH, en una escala de 0 a 14 (cuadro 1). Un pH de 7 es neutro (agua pura), menos de 7 es ácido y mayor a 7 es alcalino. Como el pH es una función logarítmica, cada unidad en la escala del pH es diez veces menos ácida (más alcalina) que la unidad debajo de ella. Por ejemplo, una solución con un pH de 5 tiene una concentración de iones de H^+ 10 veces mayor que una solución con un pH de 6 y una concentración 100 veces más alta que una solución con pH de 7.



Los suelos minerales ácidos con pH inferiores a 5.0 contienen a menudo cantidades apreciables de Al y de Mn en la solución del suelo, que son perjudiciales para el crecimiento vegetal. El crecimiento óptimo y el uso eficiente de los nutrientes de los fertilizantes en suelos ácidos requieren de la adición de enmiendas para eliminar los efectos tóxicos del Al, H y Mn.

Los microorganismos del suelo no funcionan con eficacia en suelos ácidos. A medida que disminuye el pH del suelo disminuye también la actividad de los microorganismos que descomponen la materia orgánica y proveen nutrientes a las plantas. Aunque estos organismos funcionan mejor en niveles de pH del suelo de 8.0, su eficacia no cae rápidamente hasta que los niveles del pH están por debajo de 6.0. La descomposición de la materia orgánica no solo provee nutrientes sino que también contribuye a la agregación (agrupamiento) de las partículas del suelo que genera buena estructura, aireación y drenaje del suelo.

La eficacia de las bacterias que se incorporan a las raíces de las leguminosas y fijan nitrógeno (nodulación) es más alto en los niveles de pH de 6.5 a 7.0 y declina rápidamente cuando los niveles del pH caen debajo de 6.0.

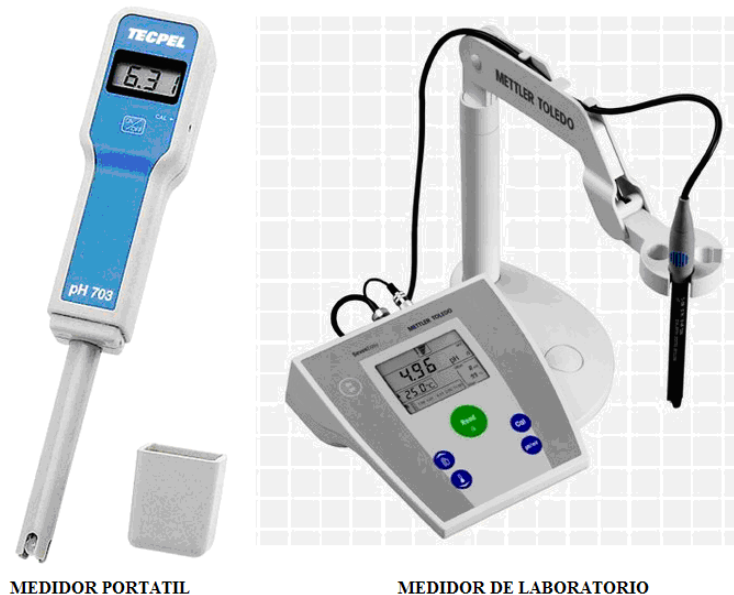
Medición de pH del Suelo

El pH del suelo se mide para estimar las necesidades de enmienda requeridas para llevar el pH hasta valores apropiados para una óptima productividad. Adicionalmente, permite prever potenciales deficiencias de nutrientes, evaluar la conveniencia de cosechas y determinar los métodos de análisis apropiados para otros nutrimentos del suelo, tales como fósforo (P).

Como se verá posteriormente, el valor de pH deseable depende del tipo de suelo y el cultivo que se vaya a plantar en el suelo.

El pH del suelo es medido en lodos de suelos preparados usando relaciones suelo:agua de 1:1 o 1:2 o en pastas de suelo. Los valores de pH son medidos usando un electrodo de pH, colocado en el lodo; la medida es efectuada potenciométricamente (medidor de pH).

Los medidores de pH pueden ser de laboratorio o portátiles, como se muestra en la figura siguiente. Los medidores de pH portátiles son muy útiles para tomar en el campo un número amplio de muestras y hacer un reconocimiento más detallado de la situación de acidez del suelo de la plantación. Tienen la ventaja de ser equipos relativamente económicos.



MEDIDOR PORTATIL

MEDIDOR DE LABORATORIO

Las diferentes relaciones suelo-agua producen valores de pH ligeramente distintos; una lectura obtenida de una relación suelo:agua de 1:1 es un poco inferior a otra que use una dilución de 1:2 (Gavlak, R.G., D.A. Horneck, y R.O. Miller. 1994. [Plant, Soil and Water Reference](#)

[Methods for the Western Region](#). WREP 125). Debido a esto, es importante reportar la relación utilizada y ser constante entre los métodos para asegurar que los datos son comparables.

Aunque la mayoría de los laboratorios utiliza agua para preparar la muestra que se estudiará, algunos investigadores [recomiendan usar soluciones](#) de KCl o de CaCl₂ para enmascarar los efectos en el pH de sales naturales solubles presentes en el suelo (Prasad R. and J.F. Power. 1997. Soil Fertility Management for Sustainable Agriculture. Boca Raton, FL: CRC Press LLC. 356p.).

Por qué es importante el pH del suelo en la agricultura

- [El pH es una variable fundamental](#)
 - ✚ Controla la química y las reacciones en las soluciones del suelo. (El [potencial de oxido-reducción](#) es la otra variable fundamental)
 - ✚ La química del suelo es la relación entre los componente de la solución entre sí y con los coloides del suelo.
- El pH afecta todas las propiedades del suelo.
 - ✚ Físicas, químicas y biológicas
- El pH afecta la [Capacidad de Intercambio Catiónico](#), la solubilidad de los minerales del suelo y de las enmiendas aplicadas, el estado en que se encuentran los elementos, la disponibilidad de los nutrientes, la actividad biológica, el crecimiento de las raíces, la degradación de la materia orgánica.

Desarrollo de Cargas en los Coloides del Suelo

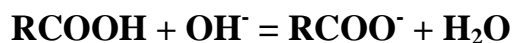
Los [coloides](#) del suelo (arcillas y materia orgánica) desarrollan carga superficial. Esto ocurre de dos maneras:

- ✚ [Substitución isomorfa](#) (carga permanente) y
- ✚ [Deprotonación](#) de los [grupos funcionales](#) superficiales (carga dependiente del pH).

La substitución isomorfa es el reemplazo de un átomo por otro **de tamaño similar** en un enrejado cristalino, sin cambio de la estructura cristalina del mineral. Cuando un catión de una carga positiva más alta se intercambia por uno de una carga positiva más baja se desarrolla una carga negativa neta.

La [carga dependiente del pH](#) ocurre en los bordes de las capas de silicatos, en los minerales de carga variable tales como óxidos del Fe y de Al y en la materia orgánica.

La mayor parte de la carga dependiente del pH en los suelos agrícolas se debe a la pérdida de protones de grupos funcionales orgánicos. A medida que aumenta el pH de la solución del suelo grupos funcionales ácidos débiles, tales como el [ácido carboxílico](#), donan un protón (H⁺) y generan la carga negativa:



El entendimiento de este fenómeno es de gran importancia en la definición de las prácticas culturales de manejo de suelo en la medida que determinan la frecuencia de fertilización, las cantidades de enmiendas requeridas y los tipos de fertilizante más convenientes, porque entre mayor número de cargas negativas posea el suelo mayor será su capacidad de almacenar cationes (positivos). Esta capacidad se conoce como Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) indica el grado al cual un suelo puede sostener e intercambiar cationes básicos tales como calcio, magnesio y potasio así como el hidrógeno, el aluminio, el hierro y el manganeso. La CIC de los suelos varía desde 40 o más meq/100 cm³ en arcilla y suelos orgánicos a 2 o menos en algunos suelos arenosos. La CIC está relacionada con el nivel de pH, la proporción de arcillas y la cantidad de materia orgánica presente en el suelo.

Una CIC alta es deseable porque hace la lixiviación de los nutrientes menos probable y el mantenimiento de mayores cantidades de reservas más probable.

Una manera práctica de incrementar la CIC de suelos agrícolas es aumentar el contenido de materia orgánica con prácticas de labranza y aumentar el pH agregando enmiendas.

Formas de acidez en el suelo

Definiciones:

Acidez activa

La acidez activa estima la presencia de iones H⁺ en la solución del suelo. Se mide con un peachímetro (medidor de pH) y no tiene en cuenta la presencia de Al⁺³ u otros iones.

Debido a que la acidez activa es solo una fracción de la acidez potencial total en el suelo, una medida de pH puede indicar sólo si un suelo requiere o no de un tratamiento con alcalinizantes, pero no cuánto se requiere. Para determinar la cantidad de caliza requerida se requiere medir la acidez residual para lograr el pH deseado.

Acidez intercambiable

Estima tanto la presencia de iones H⁺ en la solución del suelo como la de iones Al⁺³ y Al(OH)_x^{+(3-x)}. Generalmente es pequeña en suelos mineral ácidos pero es más abundante en suelos orgánicos.

En Química del suelo, se definen los cationes intercambiables como aquéllos que son extraídos con una solución salina neutra, no tamponada (no-buffer). La suma de estos cationes es llamada Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva. Bajo estas condiciones, solo son extraídos los cationes que están adsorbidos en los sitios activos de intercambio, a un pH determinado. Las sales normalmente usadas son KCl, CaCl₂, BaCl₂ o NaCl. El resultado depende del tipo de sal y su concentración. (Difiere de la verdadera Capacidad de

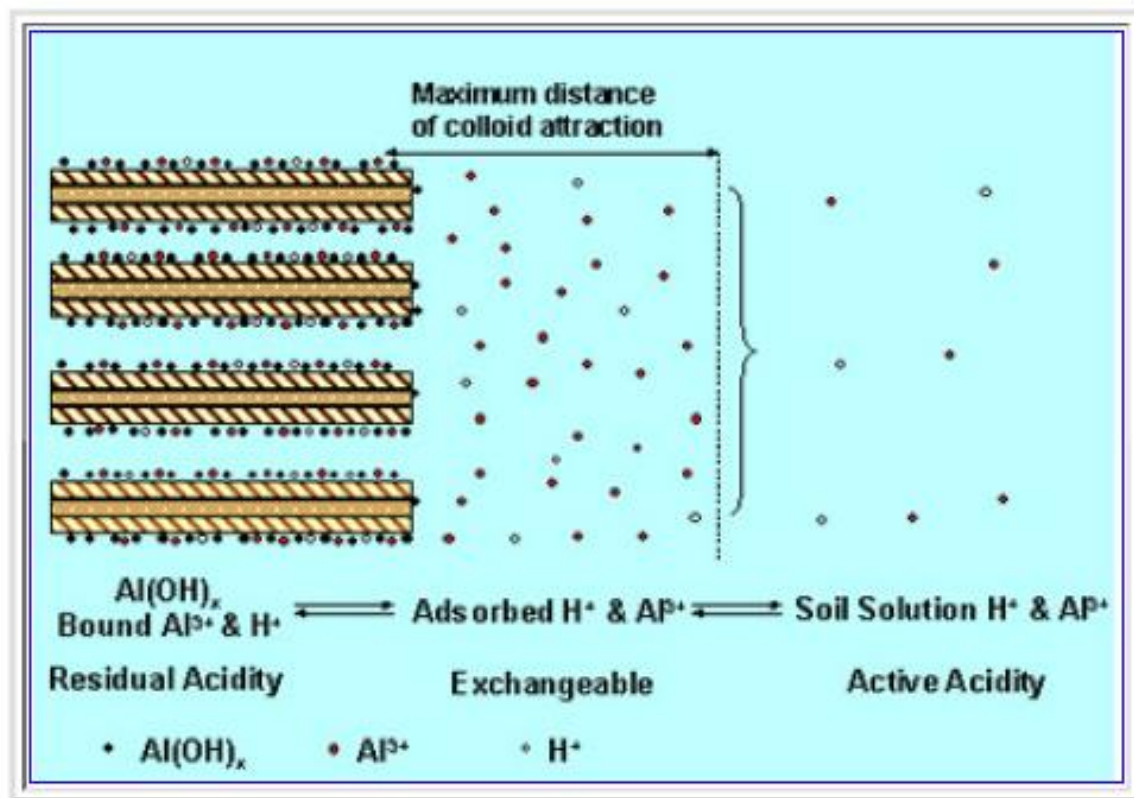
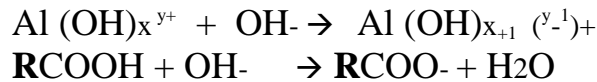
Intercambio Catiónico (CIC) en que esta evalúa el número total de puestos de carga negativa y la CICE evalúa solamente los puestos que están ocupados. Generalmente su valor es inferior a la CIC).

Ver:

Robertson, G., et.al. 1999. [Exchangeable ions, pH and Cation Exchange Capacity](#) in Standard Soil Methods for Long Term Ecological Research. Oxford University Press.

Acidez residual o No Intercambiable

Está conformada por ácidos débiles que no son reemplazados con soluciones neutras no tamponadas. Es causada por materia orgánica y aluminio enlazado.



El procedimiento de medición de la acidez intercambiable (H^+ , Al^{3+} y $\text{Al(OH)}_x^{+(3-x)}$) tampoco estima los requerimientos de enmienda necesarios para obtener un pH deseado, porque no tiene en cuenta la acidez residual. Por esta razón, los laboratorios usan soluciones tampón para determinar los requerimientos de caliza.

Las [soluciones tampón](#) tienen la característica de que el [pH](#) de la solución cambia muy poco cuando una cantidad pequeña de [ácido](#) o de [base](#) se agrega a ellas. Se utilizan como medio para mantener el pH en un valor casi constante.

Para estimar la acidez residual o ligada se usa este tipo de solución; desafortunadamente no existe una solución única. Dependiendo del tipo de suelo y el contenido de material orgánica se han propuesto varios tipos de solución tampón. Cuatro métodos se están utilizando en los Estados Unidos. Ellos son 1. Woodruff, 2. Shoemaker, McLean, y Pratt (SMP), 3. Adams-Evans y 4. Mehlich buffer

El [buffer SMP](#) fue desarrollado para suelos que tienen requerimientos relativamente altos de cal y reservas significativas de aluminio intercambiable. Trabaja con un pH inicial de 7.5. El buffer SMP es apropiado para [suelos Alfisoles](#) que contienen arcillas de tres láminas y alto contenido orgánico. El buffer SMP no está bien calibrado para los suelos de capacidad de intercambio baja y puede dar resultados inexactos en estos suelos.

El [buffer de Adams y Evans](#) fue desarrollado para evaluar los requerimientos de cal de suelos con baja capacidad de intercambio catiónico y que contienen principalmente [arcillas caoliníticas](#) ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Estos suelos tienen usualmente requerimientos bajos de cal y existe la posibilidad de sobre encalar. El buffer de Adams y Evans es muy confiable para suelos con acidez intercambiable relativamente pequeña y da resultados precisos para estimar los requerimientos de cal para llegar a pH de 6,6 o menos. La sensibilidad del método es de unos 600 kg / Ha de caliza. <http://hubcap.clemson.edu/~blpprt/diagnosis.html>

El método del buffer de Mehlich ([Mehlich buffer method](#)) fue desarrollado para determinar la cal requerida para neutralizar la acidez que está limitando el crecimiento. La solución buffer mide la acidez extractable (Ac) a un pH de 6,6. La cantidad de cal requerida es calculada por la siguiente expresión:

$$\text{CaCO}_3 \text{ tons/Ha} = 2,5 * \text{Ac} * \frac{(\text{pH deseado} - \text{pH suelo})}{(6.6 - \text{pH suelo})}$$

El pH deseado para el suelo es el pH al cual la actividad del aluminio es neutralizada. El efecto de la materia orgánica en la disminución de la actividad del aluminio es involucrada en el pH deseable, estableciendo su valor dependiendo del contenido de materia orgánica, así: 6.0 para suelos minerales, 5.5 para suelos minerales-orgánicos y 5.0 for suelos orgánicos ([AGW-439-50](#)).

Soil classes in North Carolina, as defined by humic-matter content and the weight-to-volume ratio, and the target pH ranges for most field crops.

<i>Soil Class</i>	<i>Humic Matter (%) and Weight/Volume Ratio (g/ml) Criteria</i>	<i>Target pH (most crops)</i>
Mineral (MIN)	HM ≤ 3.37 and W/V > 0.5	6.0
Mineral-Organic (M-O)	HM ≤ 3.37 and W/V ≤ 0.5 or 3.37 < HM ≤ 5.23 and W/V > 0.5	5.5
Organic (ORG)	3.37 < HM ≤ 5.23 and W/V ≤ 0.5 or HM > 5.23	5.0

SoilFacts

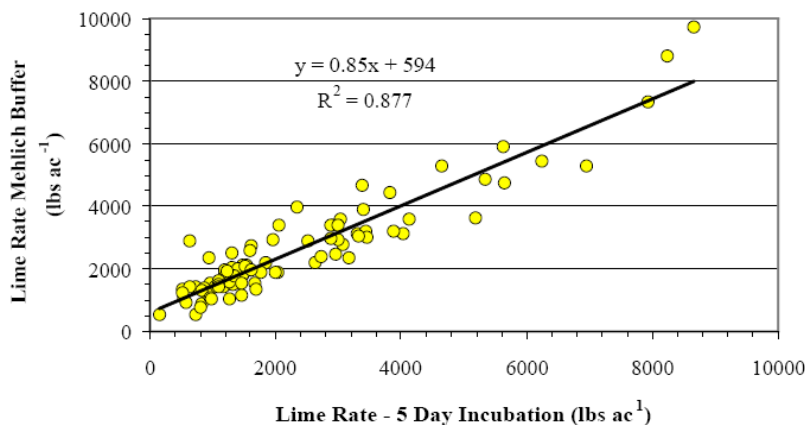
Soil Acidity and Liming for Agricultural Soils
NORTH CAROLINA COOPERATIVE EXTENSION SERVICE
AGW-439-50

Mehlich A. 1976. New buffer method for rapid estimation of exchangeable acidity and lime requirement. *Commun Soil Sci. Plant Anal* 7(7): 637–52.

The buffer reagent is composed of

- sodium Glicerofosfato de sodio ($\text{Na}_2\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_2 \cdot 5.5\text{H}_2\text{O}$), fw 315.15;
- trietanolamina (TEA), 1.117 a 1.125 g/mL densidad;
- Acido acético glacial (CH_3COOH), 17.4N (99.5%);
- Cloruro de amonio (NH_4Cl), fw 53.5; y
- Cloruro de bario ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), fw 244.32.

El método correlaciona bien con procedimientos de incubación.



Comparison of 5-Day incubation and Mehlich buffer lime rates.

http://cropandsoil.oregonstate.edu/sites/default/files/WERA103/2005_Proceedings/Miller_Lime_Recommendations_pg219.pdf

LIME RECOMMENDATIONS FOR CALIFORNIA
Robert O. Miller, et.al

Acidez Titulable

Para calibrar los métodos de extracción con soluciones buffer con los requerimientos reales de los suelos se usan las titulaciones y las incubaciones de suelo. Las titulaciones son realizadas agregando cantidades incrementales de una base, tales como $\text{Ca}(\text{OH})_2$ o KOH a una mezcla de agua y de suelo. La base se agrega con incrementos pequeños (1-3 mL) y el pH de la mezcla se lee después de que la reacción con la base sea completa. Se repite este proceso hasta que se alcanza un punto final. (McLean et al., 1977). El problema de este método es que la velocidad de adición de la base neutralizante puede ser muy rápida y no ser suficiente para neutralizar toda la acidez residual de equilibrio, entonces no medirá toda la acidez residual.

La incubación de suelo con $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCO_3 o cualquier otra enmienda es otro método que se utiliza para estimar los requerimientos de alcalinizante de un suelo. Con este método, cantidades incrementales de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ o CaCO_3 se agregan a unos 50 gramos de suelo. Después de mezclar la enmienda con el suelo se deja incubar por varias semanas a la temperatura ambiente. Agua desionizada es agregada, tan a menudo como sea necesario, para mantener el contenido de agua del suelo cerca de capacidad del campo. Después de la incubación, el pH del suelo es leído. La cantidad de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ o CaCO_3 agregado se puede entonces medir contra el pH y un requerimiento de alcalinizante se puede determinar gráficamente. (EVALUACION BIOLOGICA DE METODOS QUIMICOS PARA DETERMINAR REQUERIMIENTOS DE CAL EN SUELOS ACIDOS DE VENEZUELA. ISAURA L. DE ROJAS).

[Comparación de métodos](#)

Origen de la Acidez del Suelo

- ✚ Presencia de minerales acidificantes (Al, Fe, sulfuros)
- ✚ Uso de fertilizantes (Principalmente NH_4^+)
- ✚ Remoción de bases por lixiviación
- ✚ Remoción de bases por cosechas

- ✚ CO₂ de respiración de plantas y microorganismos
- ✚ Acidos orgánicos de materia orgánica
- ✚ Lluvia

Un suelo es ácido, bien porque su origen geológico haga que los minerales que lo componen generen reacciones ácidas en su interacción con el ambiente o porque las actividades humanas de agricultura y fertilización den lugar a la acidulación.

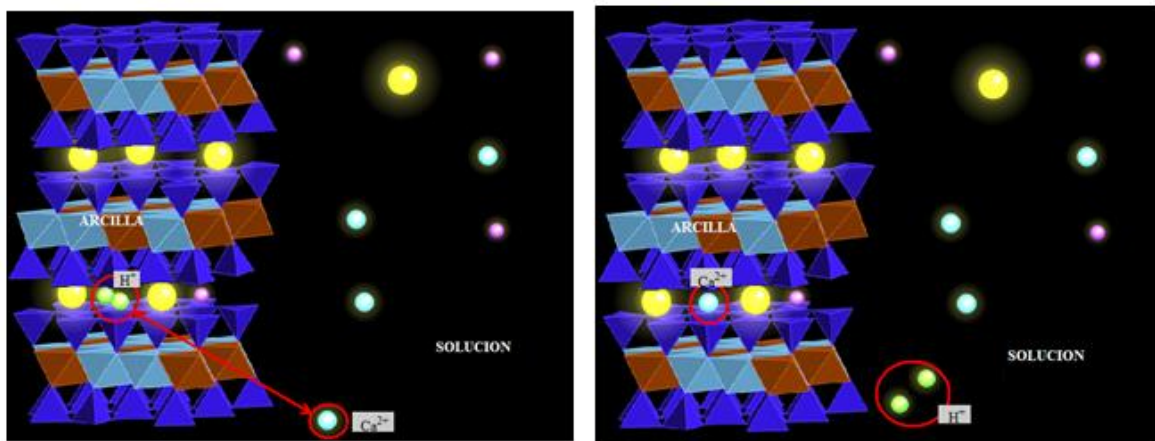
Se ha encontrado que, cuando se agrega H⁺ a los suelos, las arcillas formadas por aluminio silicatos se descomponen liberando aluminio que va a los sitios de intercambio de las arcillas.

- ✚ H⁺ y Al³⁺ son las principales fuentes de acidez del suelo
- ✚ La acidez se mide como concentración de hidrogeniones [H⁺] pero la actividad del Al³⁺ es la principal fuente de H⁺ entre pH de 4 a 5,5. En pH inferiores a 4, la actividad del Fe³⁺ es una fuente importante de H⁺

Hidrogeniones

Hidrógeno Intercambiable

El Hidrógeno es un ión Intercambiable



Introduction to Cation Exchange Capacity (CEC) - 3D Models and Shockwave Movies



http://www.soils1.cses.vt.edu/ALJE/shockwave/cec_demo/version1.1/cec.shtml

La [figura](#) muestra como un ión Ca⁺⁺ es intercambiado por dos iones H⁺ de la solución del suelo. Como se explicó antes, entre las capas de silicatos de las arcilla se alojan iones positivos de elementos o protones (iones de hidrógeno, H⁺), bajo ciertas condiciones de

equilibrio algunos iones como el Ca^{++} , el Mg^{++} o el K^+ , son reemplazados por el H^+ dando lugar a disminución de pH de la solución de suelo, esto es aumentando la acidez. Si el ión liberado es el Al^{+3} o el Fe^{+3} , la acidez aumenta mucho más.

Este fenómeno tiene interés, no solo teórico sino práctico, en la medida que explica la resistencia de algunos suelos al cambio de su pH en suelos arcillosos y orgánicos.

La acidez medida en una mezcla de suelo y agua se conoce como [acidez activa](#) y es una medida del pH del ambiente de la raíz. Ella no es una medida de la cantidad total de ácido en un suelo, porque el pH solo mide los hidrogeniones presentes en un momento dado en la solución del suelo pero no los adsorbidos por las arcillas y materia orgánica. Los suelos pueden tener una reserva grande de acidez por las partículas de arcilla y de materia orgánica o en compuestos de aluminio y de hierro. Cuando las enmiendas de calcio y magnesio neutralizan la acidez activa en la solución del suelo, más acidez se libera en la solución desde la reserva y el pH no se aumenta. *Esta resistencia al cambio de pH se llama efecto tapón (buffer)*. La capacidad tapón de un suelo es una función del contenido de arcilla y de materia orgánica como también de la cantidad de compuestos de aluminio y de hierro. Así, los suelos arenosos tienen una baja reserva de cationes y la mayor parte de la acidez es activa, en cambio en suelos con alta CIC la reserva de hidrogeniones es mayor.

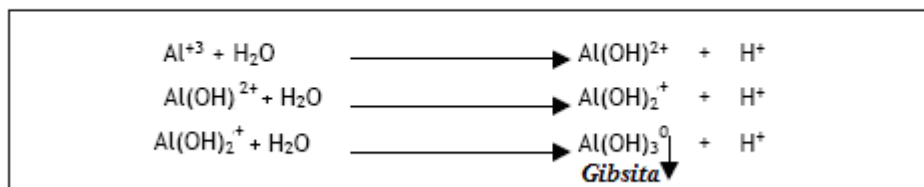
Puesto que H^+ es un catión, competirá con otros cationes para ocupar los sitios de intercambio. Cuando el pH del suelo es menos ácido (es decir, una concentración más básica, más baja de H^+), más cationes estarán en los sitios de intercambio de la partícula y serán así menos susceptibles a la lixiviación. Sin embargo, cuando el pH del suelo es más bajo (es decir, más ácido, concentración más alta de H^+), más iones de H^+ están disponibles “para intercambiar” los cationes, de este modo los reemplazarán de los sitios de intercambio y llegarán a la solución del suelo. Los alimentos intercambiados, estando liberados son tomados por la planta o perdidos con la lixiviación o la erosión.

Hidrólisis del aluminio soluble

La [hidrólisis del aluminio](#) es la principal fuente de hidrogeniones en pH de 3 a 5,5.

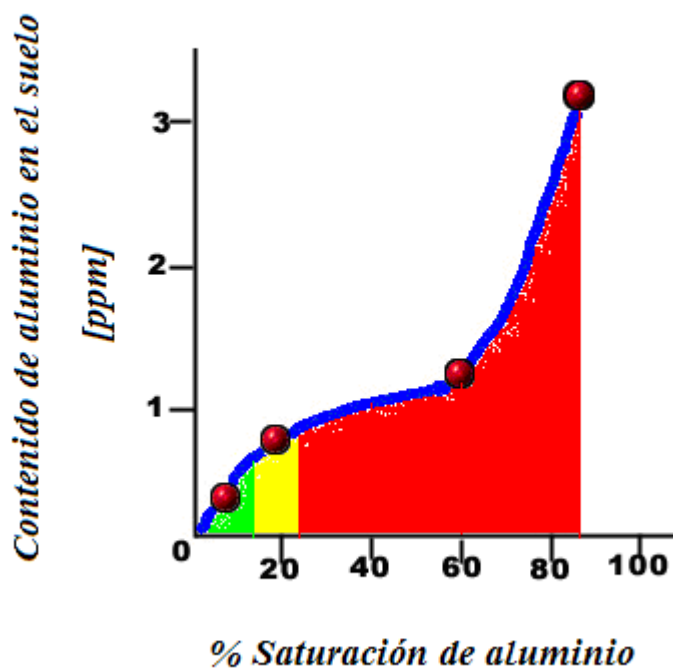
El aluminio es el tercer metal más abundante en la corteza terrestre, se presenta en el suelo en formas insolubles como aluminosilicatos y óxidos. Cuando los fertilizantes que se aplican al suelo bajan el pH a valores menores a de 5.3, una forma soluble de Al se genera como $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{+3}]$, abreviado con frecuencia como Al^{+3} . El resultado es la ionización del hidrato de aluminio que produce los iones de hidrógeno.

HIDROLISIS DEL ALUMINIO SOLUBLE



Cada reacción libera H^+ y contribuye a la acidificación del suelo. Este aumento de la acidez promueve la presencia de Al^{+3} que reacciona otra vez.

PARTICIPACION DEL ALUMINIO EN LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO



No existe una relación unívoca entre el valor de pH del suelo y el contenido de aluminio del mismo, ella dependerá del complejo arcillo húmico, relacionado con la textura y la materia orgánica del suelo. Así, para un pH dado los suelos más pesados y con mayor capacidad de intercambio catiónico presentarán cantidades de aluminio muy superiores a las de los suelos ligeros.

Contenido de aluminio y cationes básicos de algunos suelos

Suelo	pH	Al	Ca + Mg +K	%
-------	----	----	------------	---

		----- meq/100g -----		Saturación Al
Norfolk	4.5	0.91	0.20	82
Lynchburg	4.6	1.96	0.46	81
Portsmouth	4.7	4.18	3.63	54

Note la diferencia en la saturación de aluminio, aún cuando los valores de pH son aproximadamente iguales.

Como regla general, a un pH de 5.5 la concentración del Al en la solución del suelo es muy baja pero al disminuir el pH la concentración del Al aumenta bastante.

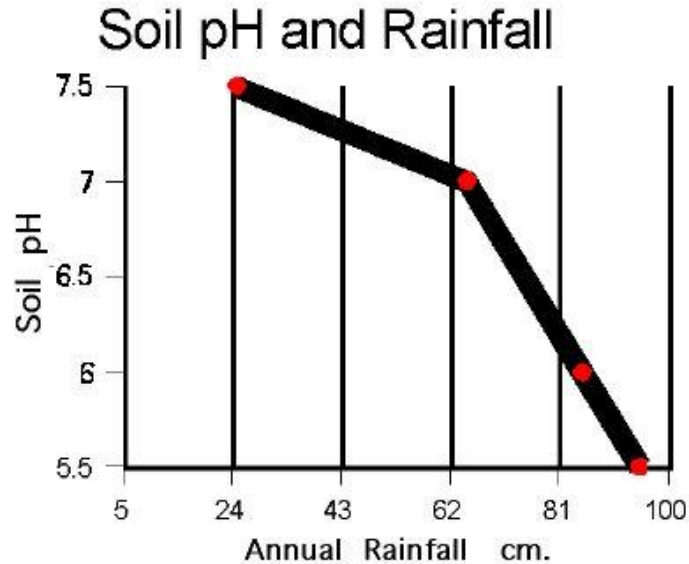
La concentración del [Aluminio de la solución](#) del suelo también se relaciona con el porcentaje de la saturación del Aluminio de la CIC eficaz del suelo. La concentración del Al en la solución del suelo es baja hasta que la saturación cambiante del Al excede el 60% y después aumenta rápidamente. Cuando la saturación del Al es mayor que 60%, la concentración de la solución del suelo del Aluminio es mayor que 1 cmol c kg⁻¹ y puede ser tan alta como 5 o 6 cmol c kg⁻¹. En este caso la planta se verá afectada por este exceso de aluminio.

Los suelos naturales presentan en ocasiones niveles de aluminio de 3-4 cmol c kg⁻¹ pero lo más frecuente es que se sitúen en torno a 1-2 cmol c kg⁻¹, mientras que los suelos sometidos ya a alguna práctica cultural –aunque sólo sea la incorporación de abonos orgánicos – presentan a menudo valores inferiores a 1 cmol c kg⁻¹.

En algunos suelos el hierro se llega a hidrolizar generando mayor acidez. Cuando esto ocurre el pH llega a niveles muy bajos, inferiores a 4.

Acidez por Remoción de Calcio y Magnesio

La precipitación excesiva en las zonas húmedas tropicales da lugar a procesos de [lixiviación](#) en los cuales el calcio y el magnesio del suelo son disueltos y profundizados. Esto, aunado a la escasez de minerales de Ca y Mg, da lugar a su déficit en el suelo y al desarrollo de acidez libre. Pluviocidad



<http://hubcap.clemson.edu/~blpprt/acid1.html>

Mientras el agua se percola a través del perfil del suelo, se da lugar a un proceso de acidificación lento pero persistente. Los ácidos débiles, que se producen en el suelo cuando los residuos de las plantas y la materia orgánica se descomponen, reaccionan y se combinan con los cationes tales como calcio, magnesio, potasio y sodio formando la solución del suelo; ésta se profundiza en el suelo cuando existe exceso de agua lluvia llevando estos nutrientes fuera de la zona de la raíz (lixiviación). El hidrógeno, o el aluminio si el pH del suelo es menor a 5.5, substituye los cationes básicos y hace que el suelo en la zona lixiviada llegue a ser más ácido.

Acidez por Adición de Hidrogeniones [H⁺]

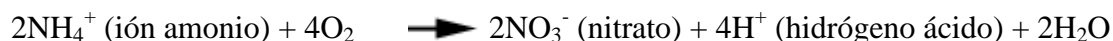
Además de la lixiviación de los cationes por el agua lluvia, la adición o generación de hidrogeniones (H⁺) da lugar a acidulación del suelo. Los hidrogeniones pueden generarse por:

- ✚ [Descomposición de la materia orgánica](#)
- ✚ Absorción de nutrientes. Las raíces toman los cationes básicos (NH₄⁺, Ca⁺², Mg⁺², Na⁺) y los intercambian por H⁺ para mantener el balance iónico.
- ✚ Algunos fertilizantes generan H⁺ por [oxidación del ión amonio](#) a nitrato.



Acidez generada por fuentes comunes de N	
Fuente de Nitrógeno	Kg CaCO3/Kg N requerido para neutralizar la acidez
Amoníaco Anhidro	1.8
Urea	1.8
Nitrato de Amonio	1.8
Sulfate de Amonio	5.4
Fosfato Monoamonio (MAP)	5.4
Fosfato Diamonio (DAP)	3.6

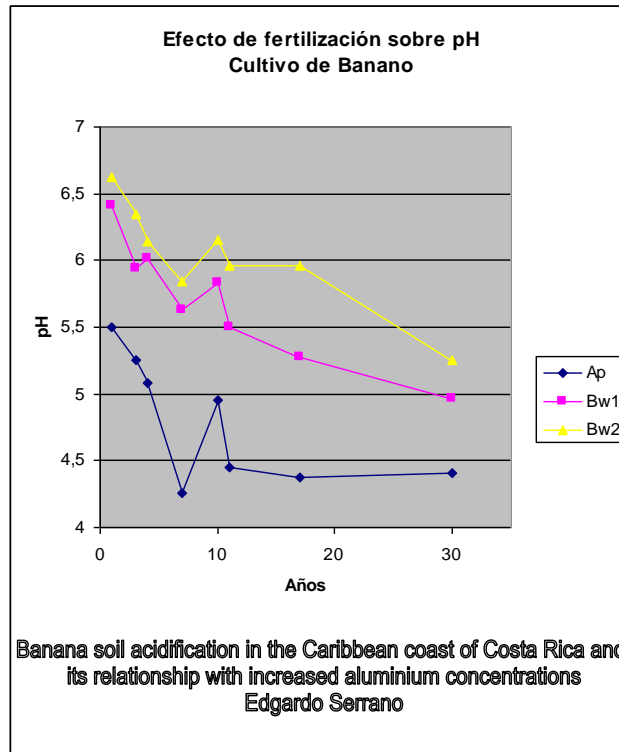
Los fertilizantes de nitrógeno tienen un mayor efecto de acidificación en suelos que otros fertilizantes. Dos procesos están implicados. Por primera parte, los fertilizantes de nitrógeno de uso general contienen o generan nitrógeno amoniacal. Las bacterias del suelo [convierten el amonio](#) (NH_4^+) en nitrato (NO_3^-) en un proceso bioquímico llamado [nitrificación](#).



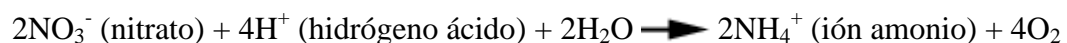
Hidr3geno 3cido (Hidrogeni3n: H^+) es liberado en este proceso dando lugar a una disminuci3n del pH.

Los nitratos, adicionados al suelo como fuente de nitr3geno o producido por oxidaci3n del i3n amonio, son muy solubles y si no son absorbidos por las plantas, se mover3n hacia abajo con agua del suelo y pueden ser llevados debajo de la zona de la ra3z. En su proceso de profundizaci3n toman con ellos cationes, especialmente Ca^{+2} , Mg^{+2} y K^+ , removi3ndolos de la zona de presencia de ra3ces y generando un efecto de acidificaci3n en los suelos similar al que se presenta por la absorci3n de nutrientes.

Si el efecto de acidulaci3n no es corregido por adici3n de enmiendas alcalinizantes, el pH del suelo disminuir3. Obs3rvese, como ejemplo, el efecto mostrado por [Edgardo Serrano](#) en un cultivo de banano en Costa Rica.

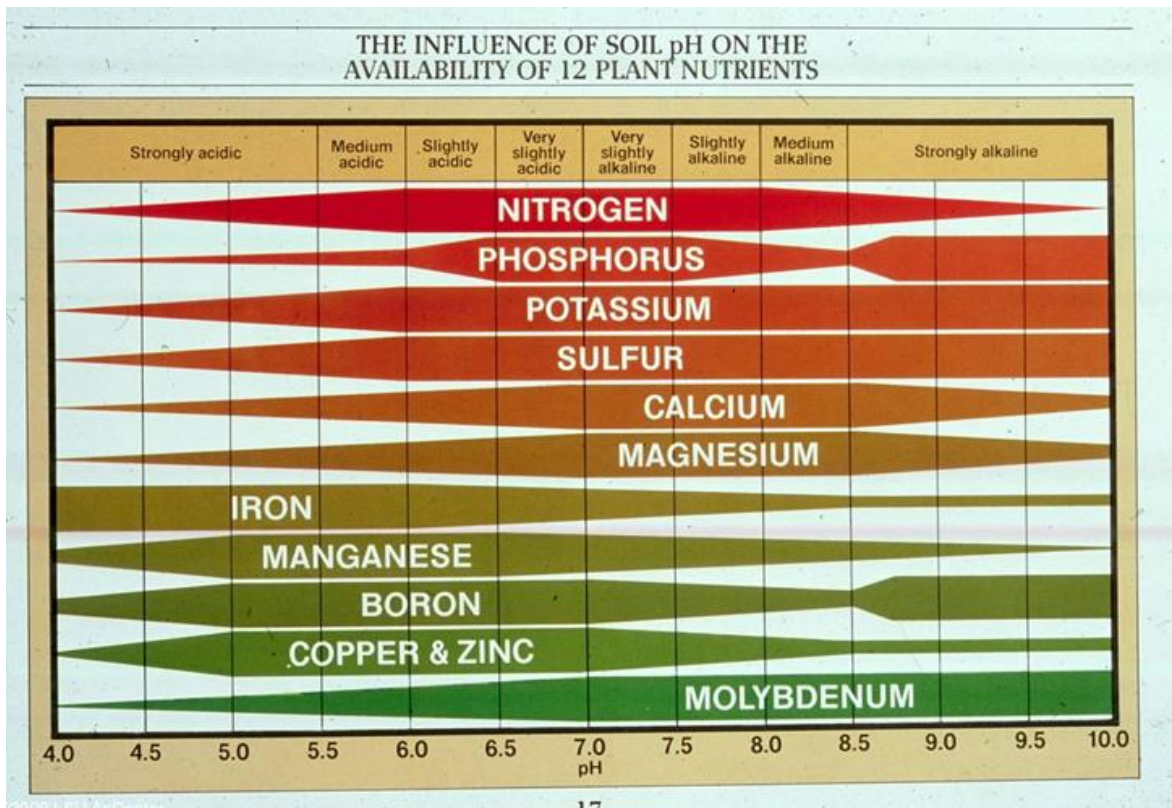


Nota: La acidez del suelo es reducida por la volatilización y la desnitrificación del nitrógeno. Por ejemplo, bajo condiciones de inundación, cuando los nitratos residuales en el suelo se reducen, el valor de pH del suelo aumentará. Los nitratos que contienen un catión básico tal como Ca, K o el Mg también aumentarán el valor de pH del suelo cuando el catión es absorbido por la planta y el ión nitrato se reduce a ión amonio.



Efectos de la acidez

La [acidez del suelo](#) tiene un efecto directo sobre la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes esenciales de las plantas. El cuadro siguiente muestra el efecto general del pH en disponibilidad de los nutrientes.



La mejor gama del pH para la mayoría de los alimentos está entre 5.5 y 6.5. Las deficiencias se pueden observar en los pH bajos y altos. El manganeso y el hierro exhiben toxicidad en los pH bajos y deficiencia en los niveles altos de pH, al mismo tiempo la disponibilidad de los nutrimentos mayores se verá limitada.

El aluminio no es un alimento esencial, es importante porque su solubilidad aumenta rápidamente cuando el pH del suelo está por debajo de 5.0 y demasiado aluminio en la solución restringirá el desarrollo de la raíz y de la planta.

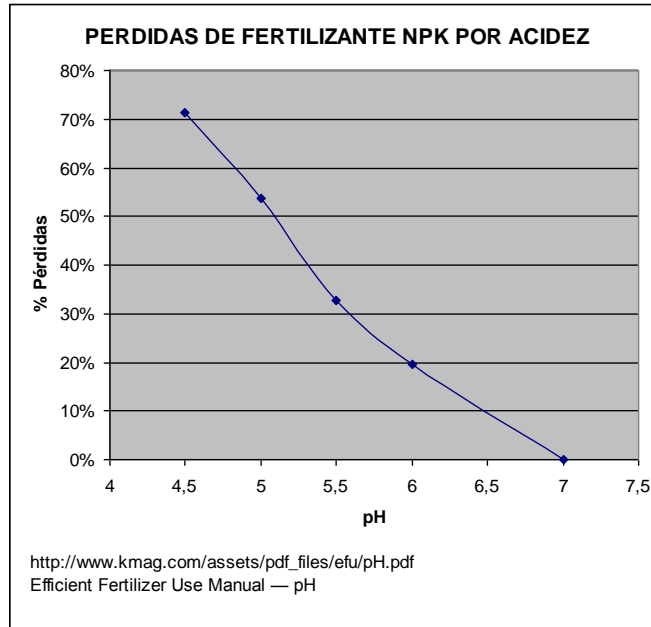
Los suelos ácidos generalmente presentan niveles bajos de fósforo, calcio y magnesio y excesivos de hierro y aluminio dando así lugar a condiciones inadecuadas para un buen desarrollo radical.

La eficiencia de los fertilizantes aumenta al disminuir la acidez

[Eficient User Manual. Cliff Synder](http://www.kmag.com/assets/pdf_files/efu/Authors.pdf)
http://www.kmag.com/assets/pdf_files/efu/Authors.pdf

ACIDEZ DEL SUELO	pH	NITROGENO	FOSFORO	POTASIO	FERTILIZANTE PERDIDO
Extremadamente ácido	4.5	30%	23%	33%	71.34%
Muy fuertemente ácido	5.0	53%	34%	52%	53.67%

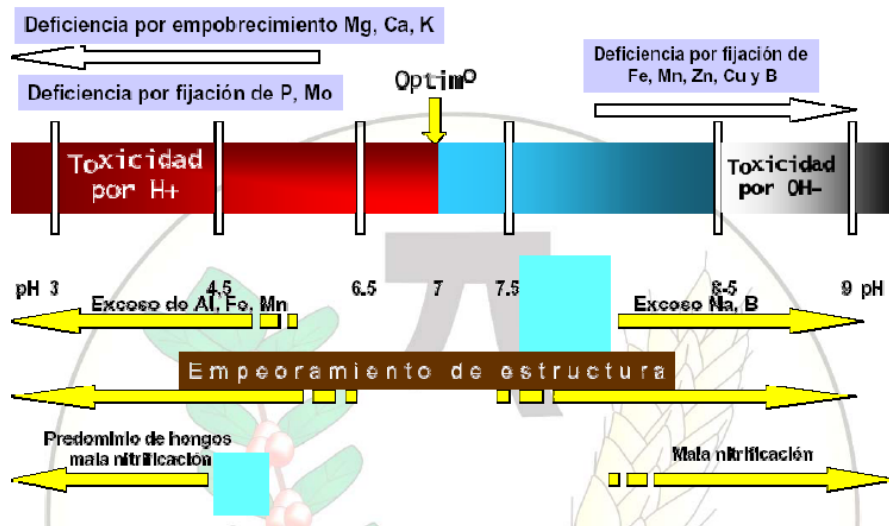
Muy ácido	5.5	77%	48%	77%	32.69%
Ligeramente ácido	6.0	89%	52%	100%	19.67%
Neutro	7.0	100%	100%	100%	00.0%



TABLAS GUIA PARA LA INTERPRETACION DE ANALISIS DE SUELOS

Recopilación
GLORIA PATRICIA SÁNCHEZ ORTEGA
Ingeniera Agrónoma, U. Nacional
gsanchez@abocol.com
gps060@hotmail.com

EFFECTO DEL pH EN EL SUELO



Toxicidad de Aluminio e Hidrógeno

El crecimiento vegetal pobre en suelos ácidos se asocia generalmente a un valor de pH bajo del suelo. Los efectos del pH del suelo sobre el crecimiento son complejos y es difícil separar los efectos directos de los efectos indirectos asociados a los cambios en la solubilidad y la disponibilidad de los varios elementos que afectan el crecimiento vegetal.

Hay dos efectos principales del Al y de H:

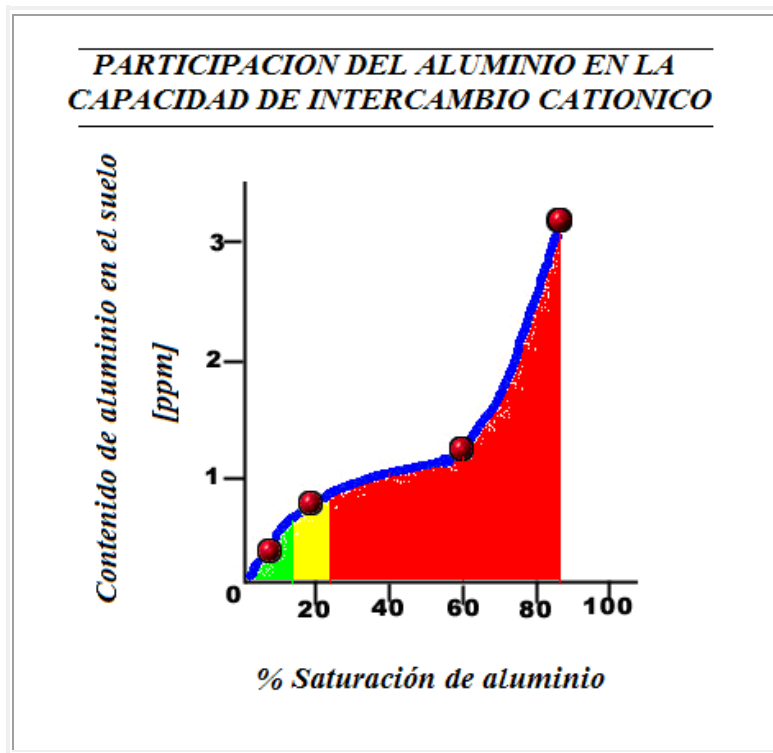
- ✚ lesión a las raíces y
- ✚ disminución de la absorción de los cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+}).

Los efectos tóxicos del Al y de H se manifiestan distinto según el tipo de suelo. En suelos orgánicos, el Al es acomplejado muy fuertemente por la fracción orgánica, por lo tanto, la presencia de Al^{3+} en la solución del suelo es pequeña. Así, el crecimiento vegetal pobre que resulta del pH bajo puede ser debido sobre todo a la toxicidad de H^{+} . En la mayoría de los casos esto no ocurre hasta que el pH disminuye a 4.0 o menos. En los suelos minerales ácidos (pH 5.0 o menos) el crecimiento vegetal pobre es debido sobre todo a los niveles excesivos del Al^{3+} .

A pH inferiores a 5,0 se observan lesiones al sistema radical. En estos niveles bajos de pH, se suprime el desarrollo lateral de la raíz y en algunos casos las extremidades se mueren. Las raíces toman un color marrón descolorido o un color gris (similar al daño producido por nemátodos). Si además del pH bajo, el contenido de calcio es también bajo, el daño a las membranas de la raíz se acentúa.

A pH inferiores a 5.0, las altas concentraciones del Al restringen la absorción de cationes tales como calcio y magnesio y se genera deficiencias de estos elementos, particularmente en suelos con una capacidad de intercambio catiónico muy baja (CIC). A pH superiores a 5.5, sin embargo, hay poco efecto sobre la absorción de cationes.

Una porción importante de la CIC de suelos muy ácidos es ocupada por Al. Cuando la saturación cambiante del Al es mayor que el 60%, hay un aumento grande en la concentración de Al^{3+} del suelo. Es el Al^{3+} en la solución del suelo el que es tóxico a las plantas, no el Al^{3+} intercambiable.



La tabla siguiente muestra que el valor de pH del suelo en el cual la producción máxima del grano del maíz ocurre es diferente para dos suelos, pero comparable cuando se considera la saturación del Al ([Soil Acidity and Liming](#)).

Wharton silt loam			Morrill silt loam		
pH	Al sat., %	Rendimiento, bu/acre (% de max)	pH	Al sat., %	Rendimiento, bu/acre (% de max)
4.7	60	44 (50)	4.9	18	120 (94)
4.9	45	71 (81)	5.1	10	123 (97)
5.2	30	77 (87)	5.5	2	128 (100)
5.8	5	82 (94)	5.8	0	128 (100)
6.2	0	88 (100)	5.8	0	123 (97)

Toxicidad de Manganeso

La toxicidad del manganeso es uno de los factores que pueden limitar el crecimiento vegetal en ciertos suelos ácidos.

El manganeso cambiante en suelos ácidos aumenta bastante cuando el pH del suelo es inferior a 5,0. Las plantas que crecen en suelos con un alto contenido de manganeso cambiante acumulan cantidades apreciables de manganeso en sus tejidos y se reduce el

crecimiento. Abonando estos suelos con enmiendas a pH superior a 5.5 disminuye la solubilidad del manganeso y su absorción lo suficiente como para eliminar la toxicidad y aumentar el crecimiento de las plantas.

Efecto del pH del suelo sobre la concentración de manganeso y la producción de soya
([Soil Acidity and Liming](#))

Hiwassee loam soil			
pH	Mn suelo, ppm	Mn foliar, ppm	Producción de grano, bu/acre
5.0	2.5	495	46
5.6	0.9	218	49

El exceso de enmiendas alcalinizantes puede producir deficiencia de manganeso. En suelos arenosos el abonar con cal a un valor de pH cerca de la neutralidad produce a menudo deficiencia del manganeso en ciertas cosechas. Dos ejemplos son sojas y cacahuets. Las sojas pueden desarrollar deficiencia de manganeso en pH > 6.0

Reducción de Mn soluble en agua por aumento de pH	
pH	Mn Soluble en agua ppm
5.0	2.5
5.6	0.9



Trigo deficiente en Manganeso

[Soil Acidity and Liming](#)

Deficiencia de Calcio

Una función importante del calcio en la planta está relacionada con la formación de membranas celulares. Puesto que el calcio es inmóvil dentro de la planta, los tejidos siguen creciendo pero son cada vez más suaves y oscuros debido a la formación pobre de la pared celular. Esta debilidad de las membranas celulares propicia el ataque de plagas.

Muchos suelos ácidos tienen cantidades muy bajas de calcio intercambiable y un porcentaje de saturación de calcio, de la CIC, bajo. En estos niveles bajos de calcio disponible, la absorción se ve también inhibida por el aluminio.

Es difícil separar los efectos directos del exceso de H^+ y Al^{+3} de los de la deficiencia de calcio en el crecimiento vegetal. En general, un % de saturación del calcio de aproximadamente 25 a 30% parece ser adecuada para proveer los requisitos de calcio de la mayoría de las plantas.

Los niveles normales de calcio en estas condiciones oscilan entre 10 y 15 cmol_c/kg; siendo niveles inferiores a 5 o superiores a 25 inadecuados por causar en los cultivos escasez absoluta de calcio y relativa de magnesio, respectivamente.

El necesario equilibrio entre el calcio y el magnesio del suelo da lugar a cifras adecuadas para este último de 1 a 1,5 cmol_c/kg de magnesio.

Quizás el factor individual más importante que afecta la disponibilidad del calcio en suelos ácidos es el nivel del aluminio cambiante o soluble referente al del calcio.



TABLAS GUIA PARA LA INTERPRETACION DE ANALISIS DE SUELOS

Recopilación
GLORIA PATRICIA SÁNCHEZ ORTEGA
 Ingeniera Agrónoma, U. Nacional
gsanchez@abocol.com
gpsob60@hotmail.com

BASES DEL SUELO CONTENIDOS Y SATURACIÓN cmol+/Kg = meq/100 g de suelo				
ELEMENTO		BAJO	MEDIO	ALTO
CALCIO	meq/100 g	< 3	3 - 6	> 6
	% Saturación	< 30	30-50	> 50
MAGNESIO	meq/100 g	< 1,5	1,5 – 2,5	> 2,5
	% Saturación	< 15	15 - 25	> 25
POTASIO	meq/100 g	< 0,2	0,2 – 0,4	> 0,4
	% Saturación	< 2	2 - 3	> 3
SODIO	meq/100 g	< 0,2	0,2 – 0,3	> 0,3
	Su contenido debe ser inferior a 1,0			
	% Saturación	< 10	10 - 15	> 15
Debe ser inferior a 15%				
ALUMINIO	meq/100 g	< 0,1	0,1 – 0,5	> 0,5
	% Saturación	< 15	15 – 30	30 - 60

SATURACIÓN DE ALUMINIO	APRECIACION
< 15%	Sin problemas en general. Limitante para cultivos susceptibles
15 – 30 %	Limitante para cultivos moderadamente tolerantes
30 – 60 %	Limitante para cultivos tolerantes
> 60%	Niveles tóxicos para la mayoría de los cultivos

Deficiencia de Magnesio

Los suelos arenosos con pH inferior a 5.0 son a menudo muy bajos en magnesio y las plantas comienzan a mostrar síntomas de [deficiencia de magnesio](#).

La absorción de magnesio por la planta de las soluciones nutritivas es influenciada por la concentración del ión H^+ , aumenta con el incremento del pH y alcanza un grado óptimo en un pH aproximadamente de 5.5. El efecto del valor de pH del suelo en disponibilidad del magnesio es probablemente debido a un antagonismo del H^+ y Al^{+3} en la absorción del magnesio, particularmente cuando el % de saturación del Al es alto. La neutralización del Al y de H es necesaria para lograr una disponibilidad óptima del magnesio. Cuando los suelos son ácidos y bajos en magnesio disponible, el uso de enmiendas que contengan magnesio es requerido.

En Colombia las fuentes más abundantes de magnesio son la cal dolomítica (carbonato de calcio y magnesio) y la [serpentinita \(silicato de magnesio\)](#)



Deficiencia de Magnesio. Maíz



Deficiencia de Magnesio. Algodón

Deficiencia de Fósforo

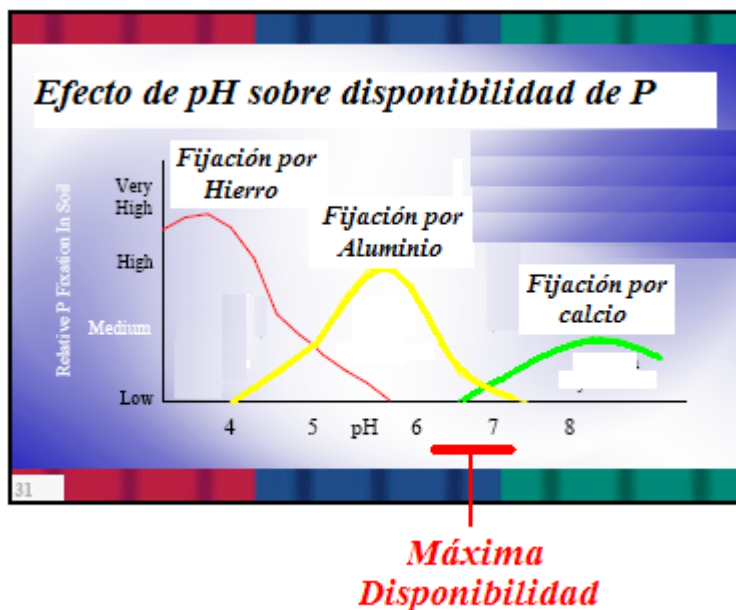
[The Nature of Phosphorous in Soils](#), Lowell Busman, John Lamb, Gyles Randall, George Rehm, and Michael Schmitt

Cuando una partícula de fertilizante soluble de fósforo entra en contacto con el suelo, la humedad comenzará a disolver la partícula. La disolución del fertilizante aumenta el fosfato soluble en la solución del suelo alrededor de la partícula y permite que el fosfato disuelto se mueva una distancia corta desde la partícula del fertilizante. El movimiento es lento pero puede ser aumentado por el agua lluvia o de la irrigación. A medida que los iones de fosfato en la solución de suelo migran lentamente alejándose de la partícula de fertilizante, la mayor parte del fosfato reaccionará con los minerales del suelo. Los iones del fosfato reaccionan generalmente fijándose por adsorción a las partículas del suelo o combinándose con los elementos en el suelo tal como calcio (Ca), magnesio (Mg), aluminio (Al) e hierro (Fe) y formando compuestos que son sólidos. El fosfato fijado por adsorción y los sólidos recién formados están relativamente disponibles para satisfacer las necesidades de la cosecha.

Desafortunadamente el fosfato fijado por adsorción y los fosfatos fácilmente solubles se convierten en compuestos más estables que son insolubles y que hacen que el fósforo sea fijo e inasequible a las plantas. Con el tiempo, esto da lugar a una disminución del contenido de P asimilable en el suelo.

Los mecanismos para los cambios químicos de los fosfatos en el suelo son complejos e implican una variedad de compuestos. En suelos ácidos (especialmente con el suelo pH menor a 5.5) el aluminio es el ion dominante que reaccionará con el fosfato. En estos suelos los primeros productos formados serían fosfatos amorfos de Al y de Fe, así como algunos fosfatos de Ca y Mg. Los fosfatos amorfos de Al y de Fe cambian gradualmente en compuestos que se asemejan al mineral [variscita](#) ([aluminium phosphate](#) $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y al [strengite](#) (fosfato de hierro hidratado, $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Estos compuestos son muy insolubles y el fósforo se ve inmovilizado y generalmente no está disponible para las plantas.

Las reacciones que reducen la disponibilidad de P ocurren en todas las gamas de pH del suelo pero pueden ser muy pronunciadas en los suelos alcalinos ($\text{pH} > 7.3$) y en los suelos ácidos ($\text{pH} < 5.0$).



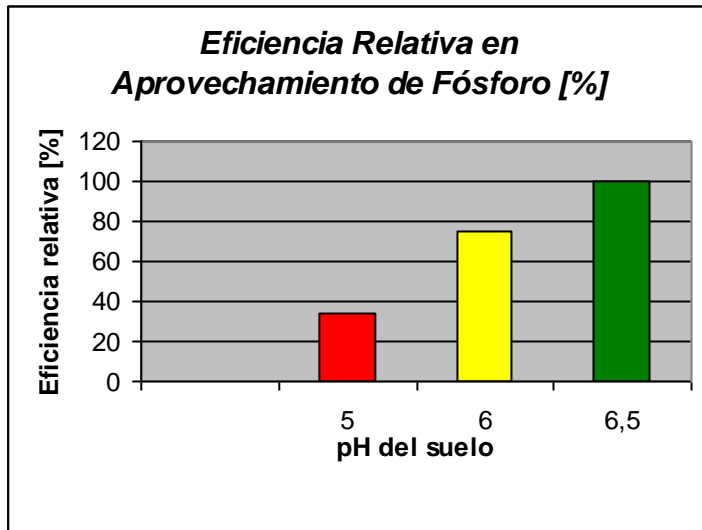
La disponibilidad del fósforo es afectada por el pH del suelo

Los mecanismos para la deficiencia del fósforo incluyen:

- ✚ Crecimiento reducido de la raíz. La absorción de fósforo es altamente dependiente en un sistema radical extenso y finamente ramificado, con tantos pelos como sea posible.
- ✚ Reacciones de precipitación-adsorción en suelo y a lo largo de la capa mucilaginosa en la superficie de la raíz y en las regiones intercelulares de los 3 a 4 milímetros apicales de la extremidad de la raíz.
- ✚ Interferencia con metabolismo de P en la planta.

([Soil Acidity and Liming](#)1)

([Soil Acidity and Liming](#)2)



**Altos niveles de aluminio causan la precipitación
del fósforo en las raíces**

P absorción, mg

pH	P absorción, mg	
	Brotos	Raíces
4.7	3.52	1.72
5.0	4.68	0.98
6.0	5.56	0.94

El pobre desarrollo de la raíz (y de la consecuente susceptibilidad a la sequía) visto en suelos ácidos (pH menos de 5.0) es generalmente debido, sobre todo, a la toxicidad del Al, que limita tanto la profundidad de la raíz como y el grado de ramificación.

La aplicación de enmiendas de calcio y magnesio al suelo permite aumentar el pH y disminuir la disponibilidad de aluminio y de hierro cambiables en el suelo. Esto genera una condición favorable que permite que el fósforo sea más disponible y no sea inmovilizado. La gran ventaja del fosfato de magnesio es que, a pesar de ser insoluble en agua, es asimilable y soluble en ácido cítrico, por esta razón, la presencia de magnesio protege al fósforo de pérdidas por lixiviación y de ser fijado por el



Crecimiento restringido de raíces de algodón causado por aluminio
[Soil Acidity and Liminig 1](#)

La toxicidad por Aluminio reduce el crecimiento de las raíces

Al ppm	Algodón Longitud de Raíz
0	16 cm
0.25	11 cm
0.50	8 cm
	Soil Acidity and Liminig 1

aluminio y el hierro.

La neutralización del Al cambiabile abonando con enmiendas de calcio y magnesio tiene un efecto marcado en la respuesta de las plantas a adiciones de fertilizantes de P. Cantidades mucho más bajas del fertilizante se requieren para un crecimiento óptimo, cuando se neutraliza el Al cambiabile.

Deficiencia Inducida de Potasio

El aplicar enmiendas a suelos ácidos, que tienen una saturación relativamente grande de Aluminio en los sitios del intercambio aumenta apreciablemente la capacidad tapón del suelo después de que se neutralice el Aluminio cambiabile. Una ventaja de enmendar suelos ácidos, por lo tanto, es la reducción en las pérdidas por lixiviación del fertilizante K.

Sin embargo, niveles excesivos de alcalización, que lleven los valores de pH sobre 6,0, pueden disminuir la disponibilidad de K por su desplazamiento en los sitios de intercambio y aumentar la necesidad de la fertilización de K en ciertos suelos.

Disponibilidad de Micronutrientes relacionada con pH

La disponibilidad de manganeso, Cu, Zn, y Fe para las plantas disminuye generalmente cuando el pH del suelo se aumenta. Abonar con cal los suelos que son intrínsecamente bajos en estos elementos puede inducir deficiencias del micronutrimiento. Por esta razón el pH final de un proceso de enmienda debe ser evaluado con cuidado.

Boro

El abonar con cal los suelos ácidos a pH cercanos a 7.0 causa a menudo deficiencias de Boro. La fijación del B aplicado es mucho mayor en pH 7.0 que en valores de pH menores. De nuevo debe recalcar la importancia de no sobre encalar los suelos ya que ello puede ser muy perjudicial.

Molibdeno

La disponibilidad del molibdeno es muy baja en suelos ácidos. Los síntomas de la deficiencia se observan más a menudo en las legumbres. La deficiencia de molibdeno se ve como deficiencia de N debido a que este elemento es requerido por el [rizobio](#) que fija del nitrógeno.

El pH del suelo es uno de los factores más importantes que afectan la disponibilidad del Molibdeno y de su asimilación por las plantas. En contraste con los otros microelementos, abonar suelos ácidos con cal aumenta la disponibilidad de molibdeno del suelo. Esto puede ser debido a que los iones de OH⁻ sustituyen iones Mo²⁻ fijado por adsorción.

Soya con deficiencia de molibdeno ([Soil Acidity and Liming](#)1)



<p>La adición de molibdeno incrementó, en el ensayo, el rendimiento de soya cuando el pH fue < 6,0, pero no a pH mayores. (Soil Acidity and Liming)</p>		
<p>Soil pH</p>	<p>Sin Mo</p>	<p>Con Mo</p>
	<p>----- Producción de granos, bu/acre -----</p>	

5.6	32	41
5.7	34	43
6.0	37	40
6.2	40	42
6.4	42	41

Microorganismos en el Suelo

Microorganismos benéficos

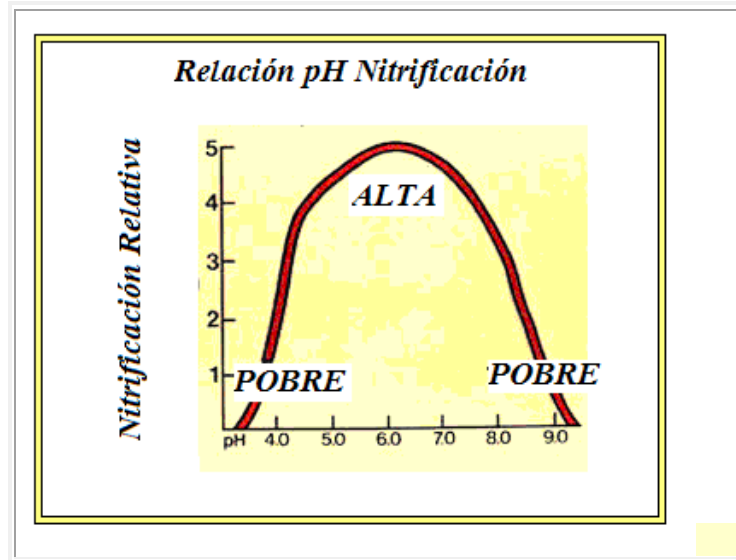
- ✚ El crecimiento de muchas bacterias y [actinobacterias](#) se inhibe cuando el pH del suelo disminuye por debajo de 6.
- ✚ Los hongos crecen a través de una amplia gama de pH del suelo.
 - Son dominantes en medios ácidos
 - Tienen menos competencia de bacterias y actino bacterias.
- ✚ Las lombrices se desarrollan mejor cuando el pH suelo es mayor a 6.5
- ✚ La nitrificación se inhibe grandemente a < pH 5.5



- ✚ La actividad de los rizobios se incrementa con el pH. La fijación del N se restringe grandemente si pH < 6.

pH	# Nódulos (soya)
4.7	21
5.0	64
6.0	77

[Soil Acidity and Liming](#)



- ✚ La descomposición de los residuos de la planta y material orgánica puede ser lento en condiciones ácidas pH < 5.5

Las *preguntas más frecuentes* siguen siendo cuál es el valor óptimo de pH, cuáles los niveles óptimos de calcio en el suelo y qué cantidad de calizas se deben añadir para alcanzar estas condiciones; nosotros preferimos hablar de niveles o intervalos normales en nuestros suelos dado que no existe un único valor óptimo aislado para cada uno de los parámetros que entran en juego al modificar el pH.

No existe una respuesta única. El valor de pH más adecuado – como medida indirecta de otras características del suelo – depende del cultivo pero también del propio tipo de suelo, siendo más elevado cuanto mayor sea el contenido de arcilla o limo del suelo – o su textura más pesada- y variando entre 6.0 y 6.5.



TABLAS GUIA PARA LA INTERPRETACION DE ANALISIS DE SUELOS

Recopilación
 GLORIA PATRICIA SÁNCHEZ ORTEGA
 Ingeniera Agrónoma, U. Nacional
gsanchez@abocol.com
qps060@hotmail.com

RELACIONES IONICAS								
Apreciación	Ca/Mg	Mg/K	Ca/K	(Ca + Mg)/K	Ca:Mg:K	Ca/B	Fe/Mn	P/Zn
Relación ideal	2 - 4	8 - 10	6	20 - 40	3: 1 : 0,25	2000	5 - 10	10
K deficiente		> 10	> 30	> 40				
Mg deficiente	> 6	< 8						
Ca deficiente	< 3		< 15			< 1000		
Ca y/o Mg deficiente				< 20				
B deficiente						> 2000		
Mn deficiente							> 10	
Fe deficiente							< 5	
Zn deficiente								> 12
P deficiente								< 8

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO cmol+ / Kg. = meq/100 g de suelo			% DE SATURACION DE BASES (Ca+Mg+ K+Na)/CIC		
BAJO	MEDIO	ALTO	BAJO	MEDIO	ALTO
< 10	10-20	> 20	< 35	35 - 50	> 50

BASES TOTALES (Ca+Mg+ K+Na)			IK: K/raiz((Ca+Mg)/2)		
BAJO	MEDIO	ALTO	DEFICIENTE	BAJO	NORMAL
3-10	10-20	> 20	< 0.08	0,12	> 0,16

Vínculos

<http://www.ncagr.gov/agronomi/obt23h.htm>

<http://www.soils.umn.edu/academics/classes/soil3416/lecture8A.htm>

<http://www.ncagr.gov/agronomi/obt24.htm#e18>

<http://hubcap.clemson.edu/~blpprt/diagnosis.html>

Soil acidity and liming. Internet inservice training.

<http://hubcap.clemson.edu/~blpprt/acidity.html>

Lindsay, W.L. 1979. Chemical equilibria in soil. John Wiley & Sons, New York

Soil 3416 <http://www.soils.umn.edu/academics/classes/soil3416/lecture4.htm>