

CAPITULO VII

ACIDEZ Y ENCALAMIENTO DE SUELOS

José Orlando Blanco Sandoval

En Colombia, aproximadamente el 80% de los suelos presentan reacción ácida, especialmente aquellos localizados en las regiones tropicales húmedas, que comprenden cerca del 59% del área total del país y los derivados de cenizas volcánicas de las Cordilleras Andinas.

Estos suelos se caracterizan por tener valores de pH menores de 5.0 y presentar serias limitantes para el crecimiento, desarrollo y producción de los cultivos, debido a los efectos nocivos de la acidez, tales como:

- a) Toxicidad del aluminio intercambiable.
- b) Toxicidad del Manganeseo.
- c) Deficiencia de calcio y magnesio.
- d) Deficiencia de fósforo, debido a su baja disponibilidad
- e) Deficiencia de molibdeno.
- f) Alta capacidad de fijación de fósforo (7,8).

1. LA ACIDEZ DEL SUELO

El pH o reacción del suelo es una medida de la concentración de iones hidrógeno (H^+) en la solución del suelo. Matemáticamente se expresa como el logaritmo negativo de la concentración de iones H^+ o el logaritmo del recíproco de la concentración de iones H^+ :

$$pH = - \text{Log} [H^+] = \text{Log} \frac{1}{[H^+]}$$

Valores de pH en el suelo por encima de 7.0 se consideran alcalinos, menores de 6.5 ácidos y entre 6.5 y 7.5 neutros. Suelos con valores de pH entre 5.6 y 6.0 generalmente no contienen cantidades tóxicas de aluminio (Al) y manganeseo (Mn), pero en ese rango se puede restringir la fijación de nitrógeno (N) por las leguminosas.

La ocurrencia de niveles tóxicos de aluminio intercambiable (Al^{+++}) y manganeseo

(*) Ing. Agrónomo Ph. D. Director C.I. El Zulia, CORPOICA. A.A. # 1141 Cúcuta

(Mn⁺⁺) en suelos con pH menor de 5.0 reducen el crecimiento y la producción de muchos cultivos (1,4,8).

2. TOXICIDAD DEL ALUMINIO INTERCAMBIABLE (AL⁺⁺⁺)

Se ha demostrado que el Al intercambiable es el principal componente de la acidez potencial del suelo y, como tal, es uno de los principales factores que contribuye al pobre desarrollo de las plantas en los suelos ácidos.

El pH crítico al cual el Al se solubiliza o intercambia llegando a concentraciones tóxicas para un cultivo determinado depende de los siguientes factores del suelo: el tipo de arcilla mineral, el contenido de materia orgánica y las concentraciones de otros cationes, aniones y sales totales.

Muchos investigadores han encontrado que la toxicidad de Al se caracteriza por:

- a) Inhibición del desarrollo radicular, en especies susceptibles, la cual ha sido asociada con una disminución en la absorción y utilización del P.
- b) Las raíces de plantas afectadas por toxicidad de Al han mostrado algunos materiales extraños en el meristemo apical, punta de la raíz y región cortical. Las raíces de plantas tolerantes han emergido como pequeñas protuberancias y su desarrollo es anormal.
- c) En las raíces de plantas afectadas se ha formado un precipitado de fosfato de aluminio (Al-PO₄), indicando una disminución en la utilización del P.
- d) El Al y el P coprecipitan en las células de la cofia de la raíz, siendo el Al el elemento más abundante en el núcleo, citoplasma y paredes celulares.
- e) El Al, directa o indirectamente, trastorna el mecanismo asociado con la división celular, debido posiblemente a la interacción con el P.
- f) La toxicidad de Al ha sido asociada con la disminución en la absorción de P, Ca, Mg, K, Fe y B.
- g) El Al también afecta la absorción y translocación de Ca por las plantas.
- h) El Al afecta la permeabilidad de las células de las raíces, principalmente el plasmalema. (1,3,7,8,)

3. SINTOMAS DE TOXICIDAD DEL ALUMINIO INTERCAMBIABLE

A simple vista es muy difícil identificar una toxicidad de Al. En algunas plantas los síntomas se asemejan a una deficiencia de P ya que se observa inhibición del crecimiento, presencia de hojas pequeñas y de color verde oscuro. En otros casos, los tallos, hojas y nervaduras presentan un color púrpura. En arroz es común el amarillamiento y muerte de las puntas de las hojas. El daño causado por Al también puede ser confundido con una deficiencia de calcio inducida o con un problema de translocación de Ca; en este caso, las hojas jóvenes se enrollan anormalmente y hay colapso de los puntos de crecimiento.

Las raíces afectadas por exceso de Al en el suelo tienen apariencia gruesa, las puntas de la raíz principal y de las laterales se tornan espesas o gruesas y se vuelven oscuras. El sistema radicular tiene muchas raíces laterales engrosadas que carecen de ramificaciones finas. La elongación de las raíces de plantas susceptibles también se afecta notoriamente. Por consiguiente, tales raíces son menos eficientes en la absorción de nutrimentos (1,7,8).

4. TOLERANCIA DIFERENCIAL DE ALGUNAS PLANTAS A EXCESOS DE ALUMINIO INTERCAMBIABLE

Las especies y variedades de plantas difieren ampliamente en su grado de tolerancia al exceso de Al en el medio de crecimiento.

Los mecanismos por los cuales las plantas presentan tolerancia diferencial al Al han sido explicados por uno o más de los siguientes hechos:

- a) Resistencia diferencial de las raíces a daños morfológicos.
- b) Habilidad de algunas especies o variedades para continuar la elongación radicular en presencia de altas concentraciones de Al y la iniciación de nuevas raíces cuando el Al es removido del suelo.
- c) Habilidad diferencial de las plantas para elevar el pH de su zona radicular, cambiando así la solubilidad del Al en el medio de crecimiento.
- d) Absorción, transporte y acumulación del Al en las raíces y aquellas partes aéreas asociadas con tolerancia diferencial.
- e) Preferencia en la absorción de iones de menor valencia excluyendo los de mayor valencia.
- f) Las plantas sensitivas presentan una mayor concentración de Al en las raíces que las plantas tolerantes, debido posiblemente a que tienen una mayor C.I.C.

en sus raíces, lo cual les permite acumular una mayor cantidad de Al.

- g) Existen evidencias que indican que la tolerancia de algunas plantas al exceso de Al en el suelo está asociada con la habilidad para absorber y metabolizar P cuando se presentan niveles bajos en el suelo.
- h) La tolerancia diferencial en trigo y cebada también ha sido asociada con factores genéticos (1,7,8).

5. TOXICIDAD DEL MANGANESO (Mn)

La toxicidad del manganeso (Mn) también ha sido considerada como una causa del pobre desarrollo de las plantas en los suelos ácidos. Ocurre en suelos con valores de pH menor o igual a 5.0, cuyos materiales parentales son suficientemente altos en Mn total. La toxicidad de Mn también se puede presentar a valores de pH por encima de 5.5, en suelos pobremente drenados o inundados, donde las condiciones de reducción favorecen la producción de Mn divalente que es la forma como es absorbido de las plantas. La toxicidad de Mn es menos frecuente que la de Al (7).

6. CRITERIOS PARA ENCALAR SUELOS ACIDOS

Los criterios más comúnmente usados para encalar suelos ácidos son:

6.1. Elevar el pH del suelo a un valor dado, generalmente cercano a la neutralidad, considerando que a ese pH se presenta un mejor crecimiento de las plantas, debido a una mayor disponibilidad de Ca, Mg, P y Mo y a un incremento en la actividad de los microorganismos.

Esta práctica no es recomendable por cuanto, en la mayoría de los casos, las cantidades de cal a aplicar resultan demasiado altas y se tornan antieconómicas. Por otra parte, se requiere determinar previamente en el laboratorio una curva de neutralización para fijar el nivel de cal a aplicar a un suelo en particular.

6.2. Neutralización del Al intercambiable. Con esta práctica adicionalmente se neutraliza el efecto tóxico del Mn y, además, se suministra Ca y Mg como nutrimentos. De otro lado, la neutralización de Al intercambiable disminuye la fijación del P. Este criterio es más razonable que el anterior pero requiere conocer la cantidad de Al a neutralizar.

6.3. De acuerdo con la susceptibilidad de las especies a la toxicidad del Aluminio. Owen y Sanchez (1980), han agrupado en seis clases los cultivos, para determinar los requerimientos de sal, así:

- a) Cultivos con muy alta susceptibilidad a la toxicidad de aluminio.
Ej: El algodónero.

Ton cal/ha = 2.0 x meq Al/100 g de suelo

- b) Cultivos con alta susceptibilidad a la toxicidad del aluminio.
Ej: maíz, sorgo y arroz secano.

Ton cal/ha = 1.5 x meq Al/100 g de suelo

- c) Cultivos con mediana susceptibilidad a la toxicidad del aluminio.
Ej: mani y palma africana.

Ton cal/ha = 0.75 x meq Al/100 g de suelo

- d) Cultivos con baja susceptibilidad a la toxicidad del aluminio.
Ej: arroz riego y cowpea.

Ton cal/ha = 0.35 x meq Al/100 g de suelo

- e) Cultivos tolerantes a la toxicidad del aluminio. Ej: yuca, braquiaria, Kudzú, Zornia Desmodium ovalifolium y stilosanthes capitata.

Recomendación: 0-500 kg/ha

Cultivos resistentes a la toxicidad del aluminio. Ej: marañón, achiote, Gordura, Pasto negro, Carimagua 1 y Braquiaria humidícola. No requieren encalamiento.

6.4. Con base en el porcentaje de Aluminio intercambiable

Teniendo como base que las especies tienen diferentes grados de susceptibilidad a excesos de Al intercambiable, el porcentaje de saturación de Al podría ser el mejor índice para determinar la cantidad de cal que se debe aplicar a un cultivo específico.

Aunque es muy poco lo que se conoce al respecto, a continuación se presentan algunos ejemplos:

- a) Cuando el algodónero se cultiva en suelos ácidos, es recomendable que el porcentaje de saturación de Al en la capa arable sea del 10% o menos para obtener plantas con buen desarrollo y producción.
- b) Los rendimientos de la soya, en un suelo cuyo pH era 4.9, disminuyeron cuando

la saturación de Al era del 40% o más. En un suelo orgánico (18% de M.O.), el rendimiento de la soya no se incrementó al elevar el pH del suelo por encima de 4.9.

- c) En alfalfa, el encalamiento por encima del necesario para neutralizar el 85% del Al intercambiable, no aumentó la producción de forraje.
- d) El crecimiento del maíz fué grandemente afectado cuando la saturación del Al con respecto a la C.I.C. efectiva era mayor del 55%.

Estos ejemplos demuestran que los cultivos toleran un determinado porcentaje de saturación de Al en el suelo, el cual podría ser un buen índice para determinar los requerimientos de cal. Desafortunadamente los estudios realizados en el país son escasos y solo recientemente se han realizado algunos trabajos para determinar el máximo porcentaje de saturación de Al que puede tolerar un cultivo específico para alcanzar el 90% de su rendimiento.

7. COMO REACCIONA LA CAL EN EL SUELO

Cuando se reemplaza el Al intercambiable de un suelo ácido, éste se hidroliza en la solución del suelo para formar hidróxido de Al⁺⁺⁺ e H⁺ como se indica en la siguiente reacción:



A medida que el pH de la solución aumenta la hidrólisis del Al continúa hasta formar Al(OH)₃, el cual precipita

La aplicación de cal (por ejemplo CaCO₃) a un suelo húmedo produce la siguiente reacción:



Al añadir cal a un suelo ácido, el H⁺ resultante de la hidrólisis del Al y que causa la acidez del suelo, reacciona con el OH⁻ que se origina de la hidrólisis de la cal para formar agua y así neutralizar la acidez producida por el Al. El Ca ocupa las posiciones de intercambio dejadas por el Al hidrolizado.

La reacción completa que ocurre cuando se encala un suelo ácido es la siguiente:



10. MATERIALES DE ENCALAMIENTO

En la Tabla 1 se relacionan los materiales más comúnmente usados en la agricultura para corregir suelos ácidos, como bien puede observarse, los materiales difieren marcadamente en su capacidad para neutralizar la acidez, aspecto éste que debe tenerse muy en cuenta en su elección.

Tabla 1. Principales materiales usados como correctivos de la acidez del suelo.

Material	Fórmula	% Calcio	Valor de Neutralización
Carbonato de calcio puro	CaCO_3	31	100
Calcita o Cal agrícola	CaCO_3 + impurezas	31	70-95
Cal viva	CaO	60	150
Cal apagada o Hidratada	Ca(OH)_2	46	120
Cal dolomítica*	$\text{CaMg(CO}_3)_2$	21	110
Escorias de Alto Horno	CaSiO_3	29	75-90
Roca Fosfórica	$\text{Ca (PO}_3)_2$	33	

* También contiene entre el 10 y 20% de Mg.

El valor de neutralización de una cal depende de la cantidad de ácido que ésta neutraliza. En la Tabla 1 el valor de neutralización se expresa con relación al poder neutralizante del carbonato de calcio puro (CaCO_3), que es del 100%.

Es muy importante tener en cuenta el valor de neutralización de un material de encalamiento al hacer recomendaciones de cal. Por ejemplo, si un suelo necesita 1 500 Kg/ha de carbonato de calcio, ese mismo suelo requerirá 1.070 kg/ha de cal viva (CaO), ya que de acuerdo con la composición molecular de estos materiales, 1500 Kg de CaCO_3 contienen 600 Kg de calcio y 1.070 Kg de CaO contienen también 600 Kg de Calcio (4,7).

11. BIBLIOGRAFIA

- 1 ADAMS, F. 1984. Soil Acidity and Liming. Second Edition. Numer 12

Agronomy. ASA, CSSA, SSSA. Madison, Wisconsin USA. 380 p.

2. KAMPRATH, E.J. 1967. Soil Acidity and response to Liming. International Soil Testing. North Carolina State University. Raleigh U.S. Technical Bulletin N° 4 17 p.
3. LEON, L.A. 1971. Teorías Modernas sobre la Naturaleza de la Acidez del Suelo. Suelos Ecuatoriales, Colombia Vol. 3(1): 1-23.
4. MARIN M., G; LORA, R. 1974. Acidez y enclamiento de los suelos. Boletín didáctico ICA N° 3. Tibaitatá. Bogotá 24 p.
5. Mc CORMICK, L.H ; BORDEN, F. 1974 Phosphate Fixation by Aluminum in Plant Root Soil SCI SOC. Amer. Proc. 38: 931-934
6. PEARSON, R.W. 1971 Problemas de Acidez en el Subsuelo Suelos Ecuatoriales. Colombia 3 (1) 294-309.
7. SANCHEZ, L.F. 19. Aspectos sobre acidez y enclamiento Instituto Colombiano Agropecuario Regional N° 8 Estación experimental La Libertad Villavicencio 21 p
8. TISDALE L., S ; NELSON L., W ; BEATON D., J. 1984. Soil Fertility and Fertilizers. Fourth Edition. Macmillan Publishing Company. New York 754 p.