

BOGOTA - COLOMBIA



ministerio de agricultura
Instituto COLOMBIANO AGROPECUARIO
Subgerencia de Investigación
División de Agronomía
Programa de Suelos



ACIDEZ Y ENCALAMIENTO DE LOS SUELOS

CAL CULTIVO

La Dolomítica con más Magnesio

Obsequio de Promical

CONTENIDO

1. INTRODUCCION	1
2. PROBLEMAS FISIOLOGICOS DE LAS PLANTAS EN SUELOS ACIDOS	2
2.1 Deficiencia de calcio y magnesio	2
2.2 Deficiencia de molibdeno causada por baja disponibilidad	3
2.3 Toxicidad por exceso de aluminio y manganeso	4
2.4 Deficiencia de fósforo	4
2.5 Efecto directo del pH (concentración de iones Hidrógeno)	4

3. QUE ES EL pH	5
4. EL pH DEL SUELO Y SU RELACION CON LOS NUTRIMENTOS DE LAS PLANTAS	7
5. TOLERANCIA DE LAS PLANTAS A LA ACIDEZ DEL SUELO	8
6. EL ENCALAMIENTO DE LOS SUELOS	9
6.1 Cal Agrícola	9
6.2 Cal viva	9
6.3 Cal apagada	10
6.4 Cal dolomítica	10
6.5 Escorias Thomas	10
6.6 Escorias de Alto Horno	10
6.7 Utilidad de la cal	10
7. VALOR DE NEUTRALIZACION DE LA CAL	11
8. CANTIDAD DE CAL QUE SE DEBE APLICAR AL SUELO PARA CORREGIR LA ACIDEZ	12
9. EPOCA DE LA APLICACION DE LA CAL	14
10. FORMAS DE APLICACION DE CAL	16
10.1 Aplicación de cal al voleo a mano	16
10.2 Aplicación al voleo con pala	17
10.3 Aplicación con maquinaria	17
10.4 Aplicación localizada	18
10.5 Aplicación al voleo y luego incorporada	18
11. CADA CUANTO HAY QUE ENCALAR LOS SUELOS	19
12. RESPUESTA DE LOS CULTIVOS AL ENCALAMIENTO	19
12.1 El encalamiento en suelos derivados de cenizas volcánicas, zona catetera	19
12.2 Encalamiento en suelos de clima frío	20
12.3 Encalamiento en suelos de zonas cálidas y húmedas de Colombia	21
13. RESPUESTA DE GRAMINEAS Y LEGUMINOSAS FORRAJERAS AL ENCALAMIENTO	22
14. RESUMEN	23
15. BIBLIOGRAFIA	24

acidez y encalamiento de los suelos

Gildardo Marín M.*
Rodrigo Lora S.*

I. INTRODUCCION

La acidez del suelo es un problema para la mayor parte de los agricultores de las regiones del país localizadas en las cordilleras andinas, en los valles interandinos de aluviones ácidos y en las tierras cálidas de Caquetá, Putumayo, Llanos Orientales y en general, donde el clima se caracteriza por lluvias frecuentes e intensas.

Por encima de cierto valor, la acidez del suelo puede ser un factor limitante para obtener buenos rendimientos en la mayoría de los cultivos; por lo cual es importante conocer los efectos perjudiciales del exceso de acidez y la manera de corregirlos.

Todos tenemos una idea de la acidez; sabemos por ejemplo, que el jugo de limón es ácido; que la lechada de cal es alcalina. La acidez y la alcalinidad son opuestas; cuando una sustancia no es ácida ni alcalina, se dice que es neutra (7).

La acidez del suelo puede ser producida por la percolación continua del agua a través de éste; por el uso prolongado de algunos fertilizantes que dejan residuo ácido; por la descomposición de la materia orgánica y mineral o debido a ciertas reacciones entre el suelo y las raíces de la planta (11, 23).

* Respectivamente: Ingeniero Agrónomo M.S., Coordinador del Programa de Suelos e Ingeniero Químico M.S., Director del Laboratorio de Suelos del Centro Experimental Tibaitatá. Apartado Aéreo 151123. Bogotá, Colombia.

2. PROBLEMAS FISIOLOGICOS DE LAS PLANTAS EN SUELOS ACIDOS

Cuando se modifican las condiciones de acidez o alcalinidad de un suelo, simultáneamente se cambian muchas propiedades del mismo. Las diversas variaciones afectan de manera diferente el crecimiento de las plantas; por otra parte, factores que son críticos en un suelo pueden no serlo en otro, debido a las diferencias entre ellos (14).

Aunque las especies y variedades de plantas pueden responder en forma similar a varios factores, existen diferencias importantes en comportamiento, por lo cual la magnitud del efecto y la importancia de los varios componentes puede variar de un caso a otro (14).

Bolland y Butler (2) consideran que los efectos adversos de la acidez del suelo en el crecimiento de las plantas pueden ser atribuidos a los siguientes factores:

2.1. Deficiencias de Calcio y Magnesio.

El papel del calcio en la agricultura envuelve muchos factores, algunos de los cuales están relacionados solo indirectamente al valor nutritivo del elemento.

Comúnmente se observan en las plantas tres síntomas debidos a deficiencias de calcio.

1. Ennegrecimiento y encrespamiento de las márgenes de las hojas apicales, con posterior necrosis y cesación del crecimiento. En muchas plantas los síntomas se asemejan a los de toxicidad producida por el aluminio.
2. Desarrollo pobre de la raíz, posiblemente debido al requerimiento de calcio en la estructura membranosa, el cual se agudiza en células en división. Como el calcio es trasladado pobremente, se espera que el ápice sea afectado severamente.
3. Decrecimiento en formación de fruto y semilla. Hewitt (10) describe el colapso del óvulo con necrosis irregular de los cotiledones embrionarios y contracción dentro de los integumentos.

La función del magnesio como un constituyente de la clorofila, determina algunos de los efectos más importantes cuando su presencia es deficiente.

El síntoma visual de deficiencia de magnesio bajo la forma de clorosis aparece en las hojas más viejas. Según Hewitt (10) la deficiencia de este elemento produce células medulares pequeñas y clorénquima con número anormal de cloroplastos. Por otra parte, en los mitocondrios aparecen gránulos, debido posiblemente a la rotura de las crestas o a que éstas no son sintetizadas.

2.2. Deficiencia de Molibdeno causada por baja disponibilidad.

Los síntomas de deficiencia del molibdeno generalmente reflejan el régimen de nitrógeno al que las plantas están expuestas. Algunas crucíferas, como la coliflor, deficientes en molibdeno presentan el síntoma llamado "Whiptail" (Figura 1). La pérdida de la lámina foliar ocurre en las hojas jóvenes dejando expuesta la nervadura central. Según Hewitt (10) a nivel celular en el tejido de plantas con deficiencia de molibdeno se presenta expansión de algunas células y ruptura de otras, especialmente en el tejido de palizada y en el mesofilo. Se observa además que hay desintegración de los cloroplastos.



FIGURA 1. Deficiencia de molibdeno en coliflor en suelo de la serie "Tibaitatá".

El molibdeno es cofactor de la enzima nitrato reductaza (14). Cuando existe deficiencia de este elemento en la planta, se presenta una acumulación de nitratos a niveles tóxicos. Por otra parte, se disminuye notablemente la síntesis de aminoácidos y proteínas, especialmente cuando se utilizan nitratos como fuente de nitrógeno. Se ha postulado que el molibdeno actúa como portador de electrones en las reacciones de reducción de nitratos, lo cual explica la acumulación de éstos en las plantas deficientes en molibdeno (6, 16).

2.3. Toxicidad por exceso de Aluminio y Manganese.

La evidencia de toxicidad del aluminio en suelos ácidos representa una combinación de efectos, de los cuales y el más visible es la inhibición del crecimiento de la raíz. El examen microscópico muestra un gran número de células con dos núcleos en la región meristemática de la raíz, lo cual indica inhibición de la división celular (26).

La toxicidad del manganese puede expresarse en dos formas: la primera es un efecto indirecto cuyo resultado es deficiencia de hierro; la segunda es una acción tóxica directa, la cual parece ser la causa principal de trastornos para las plantas en suelos ácidos con exceso de manganese (10).

Existen varias teorías en relación a la deficiencia de hierro inducida por el manganese. Un mecanismo propuesto es el de que el manganese debido al alto valor de potencial redox para el sistema divalente trivalente, es capaz de causar la oxidación de gran cantidad de hierro ferroso a férrico en la célula, inactivándolo bajo la fórmula de un complejo con el fosfato en combinación orgánica (10). $[Mn^{++} \rightarrow Mn^{+++} + e (Eo = 1.51 \text{ Voltios})]$ Otro mecanismo propuesto sugiere que el efecto se debe a una competencia entre hierro y manganese por el sitio primario aceptor de hierro, y que cuando el aceptor no se ha combinado con hierro, la etapa de su producción en la célula, puede convertirse irreversiblemente a una forma que cambia fuertemente con el hierro inactivándolo (10).

2.4. Deficiencia de Fósforo.

En general la disponibilidad del fósforo disminuye con la acidez (23).

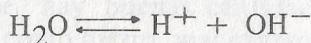
Existen evidencias de que un exceso de aluminio en solución, en suelos fuertemente ácidos, causa deficiencia de fósforo en la planta, por formación de compuestos insolubles fuera de ella o por inactivación del fósforo absorbido por la raíz (25). A medida que el pH aumenta, el aluminio es precipitado en el suelo, y no ocurre la inactivación del fósforo en la planta.

2.5. Efecto directo del pH (Concentración de iones hidrógeno).

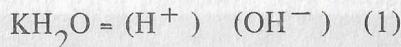
La toma de cationes es afectada por la acidez del suelo y de las soluciones nutritivas. Si el pH es suficientemente bajo, no hay absorción y los cationes previamente absorbidos tienden a fugarse de la planta hacia la solución. Posiblemente los iones hidrógeno disminuyen la toma de cationes debido a un proceso competitivo. El mecanismo de absorción selectiva es afectado. El calcio reduce o previene este problema.

3. QUE ES EL pH

El pH es una medida de la concentración de los iones hidrógeno en una solución. Los iones hidrógeno e hidróxido provienen de la ionización de las moléculas de agua de acuerdo al siguiente esquema:



La extensión a la cual el agua se ioniza puede expresarse en términos de una constante de ionización KH_2O . Se puede expresar así:



H^+ y OH^- son las concentraciones de iones hidrógeno e hidróxilos, expresados como miliequivalentes por litro. Un equivalente de un ion es el peso en gramos de ese ion que contiene 6.023×10^{23} partículas. El valor de KH_2O es 10^{-14} a 22°C , y en cualquier sistema acuoso a esta temperatura el producto de las concentraciones de los iones hidrógeno e hidróxilo es 10^{-14} ; de donde $(\text{H}^+) (\text{OH}^-) = 10^{-14}$.

La ecuación (1) por tanto puede escribirse en la siguiente forma:

$$\log. \frac{1}{\text{KH}_2\text{O}} = \log. \frac{1}{(\text{H}^+)} + \log. \frac{1}{(\text{OH}^-)} = 14 \quad (2)$$

Los valores de $\log. \frac{1}{(\text{H}^+)}$ y $\log. \frac{1}{(\text{OH}^-)}$ se refieren a pH y pOH respectivamente.

.pH= Logaritmo de la concentración inversa de iones hidrógeno en la solución del suelo.

Generalmente en lugar de utilizar las palabras ácido, alcalino o neutro, se dice grado de acidez y se expresa en números. La escala de valores del pH va de 0 a 14. El grado 1 corresponde a mayor acidez. El grado 14 corresponde a la mayor alcalinidad. Por su parte el grado 7 corresponde a las sustancias neutras, es decir, que no son ácidas ni alcalinas. Si una sustancia tiene 6 grados de acidez, se dice que tiene un pH de 6.

De acuerdo a los valores de pH, la acidez del suelo tiene varios nombres tal como se observa en la Tabla 1.

En el laboratorio el grado de acidez del suelo, llamada también Reacción del suelo, se mide por medio del potenciómetro, que la expresa directamente en términos de pH. La Figura 2 muestra un técnico de laboratorio determinando el pH del suelo por medio de un potenciómetro.

TABLA 1. Nombres de la reacción del suelo de acuerdo a los valores de pH (28).

REACCION DEL SUELO	pH
Muy alcalino	más de 8.0
Alcalino	7.4 a 8.0
Neutro o casi neutro	6.6 a 7.3
Ligeramente ácido	6.0 a 6.5
Moderadamente ácido	5.5 a 5.9
Fuertemente ácido	5.0 a 5.4
Muy fuertemente ácido	4.3 a 4.9
Extremadamente ácido	menos de 4.3



FIGURA 2. Determinación del pH por medio del Potenciómetro.

4. EL pH DEL SUELO Y SU RELACION CON LOS NUTRIENTOS DE LAS PLANTAS

El pH tiene mucha importancia en los suelos. Influye en la aprovechabilidad de los nutrientes que requiere la planta. En los suelos ácidos, generalmente, hay buenas cantidades de algunos elementos menores disponibles, tales como hierro, manganeso, zinc y boro. Por su parte el fósforo, calcio, magnesio, potasio, nitrógeno y azufre son más disponibles en un pH de 6.5 a 7.5. El microelemento molibdeno es más disponible en un pH por encima de 7.0. La Figura 3 muestra más objetivamente esta propiedad (30), en donde cada elemento está representado por una banda cuyo ancho en cualquier valor de pH indica el efecto relativo de éste en la asimilación de los nutrientos.

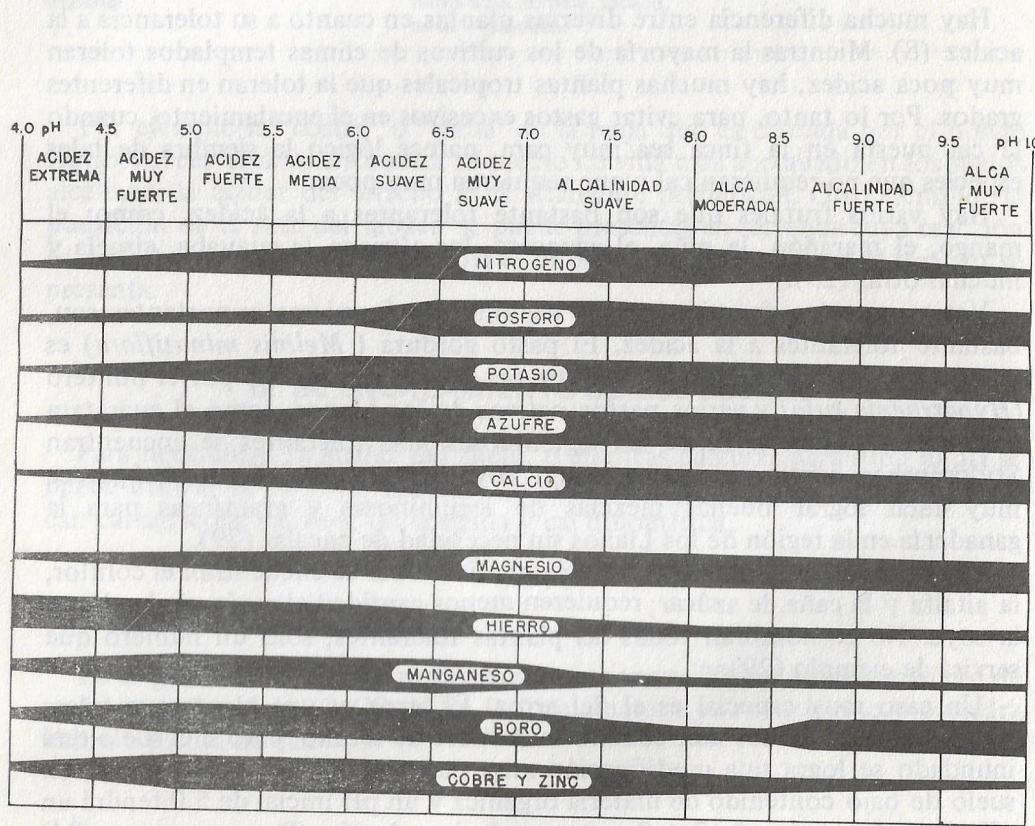


FIGURA 3. Tendencia general existente entre el pH del suelo y la asimilación de los nutrientes por las plantas.

El pH influye en la velocidad de descomposición de la materia orgánica. Igualmente es un factor importante en la producción de nitratos en el suelo, considerada como una de las formas de máxima utilización del nitrógeno por la planta.

En los Llanos Orientales, la gran mayoría de los suelos presentan graves deficiencias de elementos mayores y secundarios así como de algunos microelementos; pero los principales problemas de fertilidad se deben a bajo contenido de fósforo y a pH suficientemente bajo, para que el aluminio (Al) sea factor tóxico y el calcio y el magnesio sean deficientes.

5. TOLERANCIA DE LAS PLANTAS A LA ACIDEZ DEL SUELO

Hay mucha diferencia entre diversas plantas en cuanto a su tolerancia a la acidez (8). Mientras la mayoría de los cultivos de climas templados toleran muy poca acidez, hay muchas plantas tropicales que la toleran en diferentes grados. Por lo tanto, para evitar gastos excesivos en el encalamiento, cuando la cal puesta en la finca sea muy cara, parece lógico la siembra de tales especies que no requieran cal o que requieran muy poca.

Hay varios frutales que son bastante tolerantes a la acidez, como: el mango, el marañón, la piña, el aguacate, los cítricos, la guayaba, ciruela y muchas otras (29).

Varias especies de gramíneas y leguminosas forrajeras importantes son, bastante tolerantes a la acidez. El pasto gordura (*Melinis minutiflora*) es quizás el ejemplo más destacado entre las gramíneas seguido por el puntero (*Hyparrhenia rufa*) y varios pastos nativos de los Llanos, como el guaratara (*Axonopus pupurri*). Entre las leguminosas más tolerantes se encuentran *Stylosanthes*, centrosema, desmodium, soya perenne, kudzú, etc. Así parece muy fácil lograr buenas mezclas de leguminosas y gramíneas para la ganadería en la región de los Llanos sin necesidad de encalar (29).

Entre los cultivos anuales que más requieren cal se encuentran el coliflor, la alfalfa y la caña de azúcar; requieren menos cantidad el maíz, el algodón y la soya. No se nombran todas las plantas tolerantes; solo un número que servirá de ejemplo (29).

Un caso muy especial es el del arroz. El arroz es una planta que tolera suelos bastante ácidos aun cuando se siembre de secano, pero si el suelo está inundado se logra una modificación muy marcada del pH. Por ejemplo, un suelo de bajo contenido de materia orgánica y un pH inicial de 5.0 tendrá un pH de 6.0 después de 2 a 3 semanas de inundación (Ponnanperuma (24) 1965). En este caso la especie no es necesariamente resistente a la acidez. Parece que el arroz de secano responde a pequeñas aplicaciones de cal en suelos muy ácidos del piedemonte llanero, mientras que el arroz de riego en los mismos suelos no responde tanto a esa aplicación (29).

En general, casi todas las plantas crecen y producen mejor en suelos con un pH entre 5.5 a 7.3. La Tabla 2 muestra los límites aproximados de tolerancia de pH para algunos cultivos.

Cuando se modifica la reacción del suelo es preciso a veces, hacerlo en forma tal, que si bien no se consigue el mejor desarrollo del cultivo se logre en cambio eliminar la presencia de ciertas enfermedades.

TABLA 2. Límite del pH adecuado para algunos cultivos.

pH 4.8 - 5.5	pH 5.6 - 6.4	pH 6.5 - 7.3
Piña, papa fique, yuca, Pastos gordura, puntero, pangola e imperial	Maz, soya, frijol, manzano, maní, algodón, trigo, cebada, lechuga, cebolla, avena, repollo, remolacha, tomate, tabaco, arroz y guayaba.	Alfalfa, coliflor, aguacate, trébol, cacao, vid, maracuyá y caña de azúcar.

Por ejemplo la “costra” o “sarna” de la papa que es causada por el hongo *Actinomyces scabies* encuentra su medio de vida más apropiado en los suelos alcalinos, la acidez del terreno le es altamente perjudicial. Otro ejemplo: la pudrición de la raíz del tabaco se puede presentar en terrenos cuya reacción es de 6.0 ó más, pero cuando el pH es inferior a 5.6 la enfermedad rara vez se presenta.

6. EL ENCALAMIENTO DE LOS SUELOS

Para neutralizar la acidez del suelo, o en otras palabras para subir el pH se puede utilizar la cal o las Escorias Thomas (Calfos). Existen cuatro clases de cal: cal agrícola, cal viva, cal apagada y cal dolomítica.

6.1. Cal Agrícola.

Es el producto formado principalmente por un 70 por ciento mínimo de carbonato de calcio (CaCO_3). En la forma natural se encuentra como piedra caliza o piedra de cal.

6.2. Cal Viva.

Es la misma piedra caliza o carbonato de calcio, calcinada o quemada en hornos. Esta cal también recibe el nombre de óxido de calcio (CaO) se encuentra en el comercio en forma de terrones más o menos grandes. Para

aplicarla al suelo se puede pulverizar. Inmediatamente después de su aplicación absorbe agua y forma gránulos que se endurecen por la formación en sus superficies de carbonato de calcio; en este estado pueden permanecer en el suelo por largo tiempo. Solamente asegurando una mezcla completa se recomienda su aplicación (31).

6.3. Cal Apagada.

Es la misma cal viva después de haberla apagado con agua; también recibe técnicamente el nombre de hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) y de cal hidratada. Es menos fuerte que la cal viva. Como el óxido de calcio, es un polvo blanco, difícil y desagradable de manipular (31).

6.4. Cal Dolomítica.

Es una mezcla de carbonatos de calcio y de magnesio en proporciones distintas. Generalmente contiene 40 por ciento de carbonato de calcio (CaCO_3) y 8 a 10 por ciento de carbonato de magnesio. Esta cal tiene mucha importancia en suelos ácidos deficientes en magnesio (31).

6.5. Escorias Thomas.

Las Escorias Thomas o calfos son un sub-producto de la industria del acero, (Paz del Río) que poseen un contenido relativamente alto en fósforo (P_2O_5), aproximadamente 14 por ciento. Se aplica a los suelos, más por su contenido de fósforo que como material de encalamiento, pero por su poder de neutralización son adecuadas para aplicar en suelos ácidos deficientes en fósforo, como los de los Llanos Orientales.

6.6. Escorias de Alto horno.

Son un producto rico en silicato de calcio, con cierta cantidad de magnesio y hierro. Acerías Paz del Río las produce en grandes cantidades.

6.7. Utilidad de la Cal.

La cal es muy útil en los terrenos porque:

1. Corrige la acidez, neutralizando el aluminio intercambiable y el hidrógeno de la solución del suelo; neutralización muy importante ya que en concentraciones altas en el suelo puede provocar disturbios fisiológicos en muchas plantas como se explicó anteriormente.

2. Proporciona calcio. El calcio es un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas. Los suelos extremadamente ácidos son muy bajos en este elemento y no suplen las necesidades de la planta; especialmente en las leguminosas.
3. Acelera la descomposición de la materia orgánica y la liberación de los nutrientes. Los organismos responsables en este proceso funcionan más eficientemente en un suelo que contenga una cantidad adecuada de cal.
4. Aumenta las existencias disponibles de los fosfatos aplicados y de los residuales, o sea aumenta el grado de asimilación del fósforo. En condiciones ácidas el fósforo tiende a combinarse con hierro y aluminio, formando compuestos insolubles no asimilables por las plantas.
5. Reduce la actividad de las sustancias tóxicas del suelo como aluminio y hierro y aumenta la disponibilidad de otros nutrientes como nitrógeno, fósforo y azufre.
6. Mejora la estructura y cualidades físicas del suelo, ya que es indispensable para mantener el estado de agregación de las partículas del suelo (arena-limos-arcilla). Por esta razón en los suelos pesados puede aumentar la permeabilidad al aire y al agua (3).

7. VALOR DE NEUTRALIZACION DE LA CAL

Los materiales para encalar los suelos difieren marcadamente en su capacidad para neutralizar la acidez. El valor de neutralización de la cal, depende de la cantidad de ácido que ésta neutraliza. La Tabla 3 muestra el valor de neutralización de algunos materiales utilizados para encalar suelos, teniendo como base el contenido de calcio puro (CaCO_3) con un poder neutralizante del 100 por ciento (31).

TABLA 3. Equivalente de CaCO_3 de varios materiales de encalamiento.

Nombre común	Fórmula química	Equivalente de CaCO_3 por ciento
Carbonato de calcio puro	CaCO_3	100
Caliza-Cal agrícola	CaCO_3 más impurezas	70-95
Cal viva	CaO	150
Cal apagada	Ca(OH)_2	120
Cal dolomítica	$\text{CaCO}_2 \text{MgCO}_3$	110
Escorias Thomas o Calfos	—	60-70
Escorias de alto horno	—	75-90

El carbonato de calcio puro (CaCO_3) se considera que tiene un valor de neutralización del 100 por ciento y con éste se comparan los otros materiales. El valor de neutralización de un material de encalamiento debe tenerse en cuenta al hacerse las 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 a la composición molecular de estos materiales 1.500 kg de CaCO_3 contienen 600 kg de Ca y 1.070 de CaO también contienen 600 kg de Ca.

8. CANTIDAD DE CAL QUE SE DEBE APLICAR AL SUELO PARA CORREGIR LA ACIDEZ

Las recomendaciones de cal se basan principalmente en el pH y el contenido de aluminio intercambiable en los suelos. En general, en suelos con un pH inferior a 5.5 y menos de 10 por ciento de materia orgánica se recomienda aplicar una y media tonelada de cal agrícola, que contenga por lo menos un 80 por ciento de CaCO_3 por cada miliequivalente de aluminio intercambiable presente en 100 gramos de suelo. El aluminio intercambiable debe aparecer por consiguiente en los resultados de los análisis de suelos (18, 19). Por otra parte para suelos con más de 10 por ciento de materia orgánica los requerimientos de cal son más elevados (4, 19).

En muchos suelos de Colombia, el aluminio intercambiable está por encima de 2 miliequivalentes (meq). Es muy importante que el técnico discuta con el agricultor, el aspecto económico en el uso de la cal, puesto que aplicaciones altas de cal pueden resultar antieconómicas. En la Figura 4 aparecen definidas las regiones de Colombia diferenciadas de acuerdo a las necesidades de cal de sus suelos; de acuerdo a la frecuencia con que aparecen las muestras con valores de pH iguales o inferiores a 5.5, Marín y León (20), clasificaron los suelos con requerimientos bajos, medios y altos de cal. Las regiones del país con menos de 10 por ciento de las muestras analizadas, con valores de pH inferiores a 5.5 se clasificaron en el término bajo. Cuando las muestras analizadas incluyeron de un 10 a 35 por ciento, dieron pH inferior a 5.5 se clasificaron en un término mediano. Finalmente, cuando más del 70 por ciento de las muestras analizadas dieron un pH inferior a 5.5 los suelos se clasificaron en la categoría alta para requerimientos de cal. No hubo otros puntajes que permitieran establecer más categorías o variar las antes enumeradas.

En algunos suelos ácidos del país, se encuentra muy frecuentemente una relación Ca/Mg muy amplia, es decir la cantidad de magnesio en relación con la del calcio es muy pequeña (12). Al agregar cal agrícola a estos suelos se agrava el desequilibrio entre calcio y magnesio, por lo tanto se pueden inducir severas deficiencias de magnesio en los cultivos. Por esta razón es muy importante que las aplicaciones de cal se hagan a base de cal dolomítica o sea aquella que contiene además de carbonato de calcio, carbonato de magnesio.

En algunos suelos la relación calcio magnesio es inferior a la unidad, lo cual ocasiona otra clase de problema (9, 27).

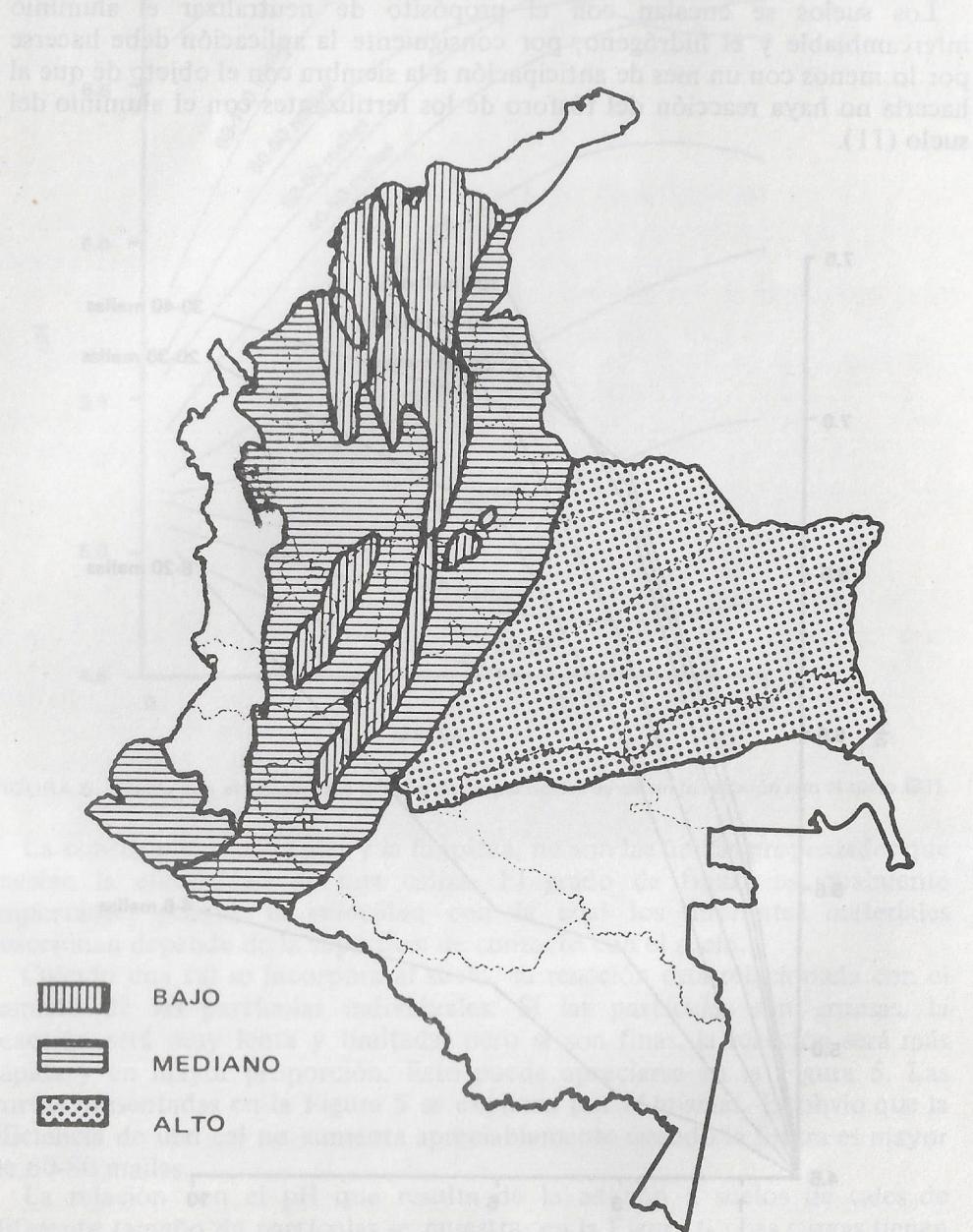


FIGURA 4. Localización geográfica de las regiones con bajo, medio y alto requerimiento de cal (20).

9. EPOCA DE LA APLICACION DE LA CAL

Los suelos se encalan con el propósito de neutralizar el aluminio intercambiable y el hidrógeno; por consiguiente la aplicación debe hacerse por lo menos con un mes de anticipación a la siembra con el objeto de que al hacerla no haya reacción del fósforo de los fertilizantes con el aluminio del suelo (11).

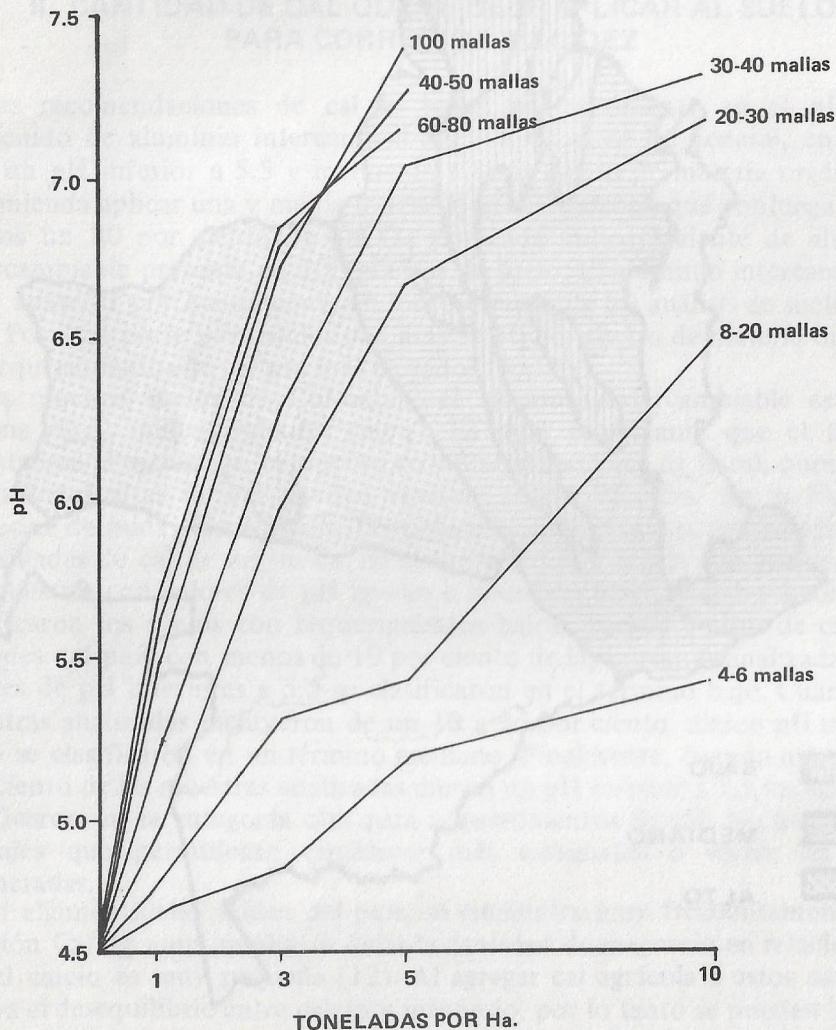


FIGURA 5. Efecto del tamaño de las partículas de la cal en la reacción con el suelo (31).

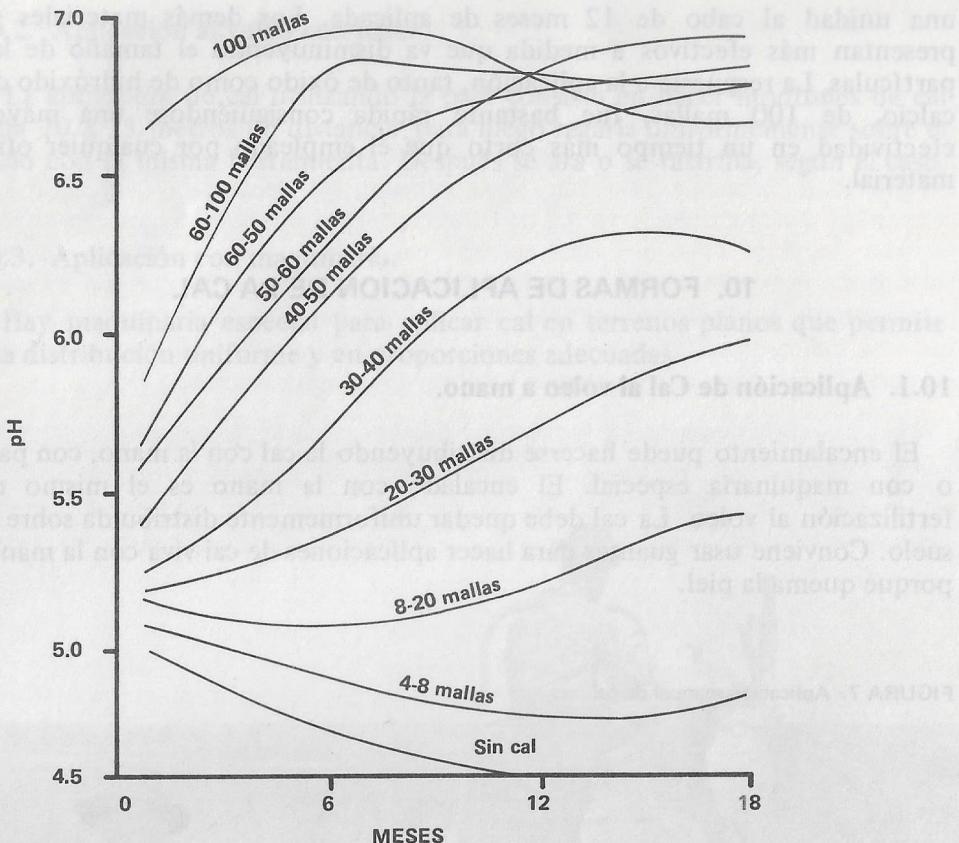


FIGURA 6. Efecto con el tiempo, del tamaño de las partículas de cal en la reacción con el suelo (31).

La constitución molecular y la limpieza, no son las únicas propiedades que revelan la efectividad de una caliza. El grado de finura es igualmente importante, porque la velocidad con la cual los diferentes materiales reaccionan depende de la superficie de contacto con el suelo.

Cuando una cal se incorpora al suelo, su reacción está relacionada con el tamaño de las partículas individuales. Si las partículas son gruesas, la reacción será muy lenta y limitada; pero si son finas, la reacción será más rápida y en mayor proporción. Esto puede apreciarse en la Figura 5. Las curvas presentadas en la Figura 5 se explican por sí mismas. Es obvio que la eficiencia de una cal no aumenta apreciablemente cuando la finura es mayor de 60-80 mallas.

La relación con el pH que resulta de la adición a suelos de cales de diferente tamaño de partículas se muestra en la Figura 6. Las curvas tienen un interés particular. Los materiales gruesos 4-8 y 8-20 mallas, para cualquier propósito, no tuvieron efecto notorio en cuanto al pH del suelo después de 18 meses de haberse aplicado. De 30 a 40 mallas aumenta el pH en menos de

una unidad al cabo de 12 meses de aplicada. Los demás materiales se presentan más efectivos a medida que va disminuyendo el tamaño de las partículas. La respuesta a la aplicación, tanto de óxido como de hidróxido de calcio, de 100 mallas, fue bastante rápida consiguiéndose una mayor efectividad en un tiempo más corto que el empleado por cualquier otro material.

10. FORMAS DE APLICACION DE LA CAL

10.1. Aplicación de Cal al voleo a mano.

El encalamiento puede hacerse distribuyendo la cal con la mano, con pala o con maquinaria especial. El encalado con la mano es el mismo de fertilización al voleo. La cal debe quedar uniformemente distribuida sobre el suelo. Conviene usar guantes para hacer aplicaciones de cal viva con la mano, porque quema la piel.

FIGURA 7. Aplicación manual de cal.



10.2. Aplicación al voleo con pala.

La aplicación de cal utilizando la pala consiste en hacer montones de cal cada 20 a 25 metros de distancia; para luego regarla uniformemente sobre el suelo con la misma herramienta. Después se ara o se rastrilla, según el caso.

10.3. Aplicación con maquinaria.

Hay maquinaria especial para aplicar cal en terrenos planos que permite una distribución uniforme y en proporciones adecuadas.



FIGURA 8. Aplicación de la cal con maquinaria.

10.4. Aplicación Localizada.

La aplicación de cal en bandas u otras formas de aplicaciones localizadas, han sido estudiadas por el ICA. Se han efectuado algunos trabajos estudiando la posibilidad de aplicar cal en bandas de 15 cm de ancho por 15 de profundidad mezclada con el suelo donde irá sembrada la soya, con resultados halagadores. Una de las ideas sería de volver a sembrar en las mismas bandas, cosecha tras cosecha, mientras otra idea sería aplicar cantidades mínimas de cal en cada siembra y siempre en bandas, para lograr encalamiento uniforme y total del terreno. Al término de varias cosechas se lograría una aplicación suficiente para neutralizar el aluminio, sin necesidad de hacer toda la inversión antes de sembrar la primera cosecha (29).

Un sistema de aplicación localizado que ha resultado muy exitoso es el de revestir la semilla de leguminosas en cal en el caso de que la bacteria nitrificante la requiera especialmente en el momento de germinación de la planta. Así ha sido posible con cantidades mínimas de cal (hasta 1 kg/Ha) lograr excelentes resultados. En este caso no es la planta la que requiere la cal sino la bacteria (Rhizobia) (29).

10.5. Aplicación al voleo y luego incorporada.

En la Tabla 4 se presentan según la manera de incorporar la cal los rendimientos de forraje seco de alfalfa obtenidos en la serie de suelos Tibaitatá. El rendimiento promedio de los siete primeros cortes cuando la cal se incorpora con arado, fue de 2.100 kg/Ha. Cuando se incorporó con rastrillo de discos dió 2.330 kg/Ha; y al hacer la incorporación, mitad, con arado y mitad con rastrillo de discos, el rendimiento fue de 2.100 kg/Ha. Comparando el sistema del arado con el del rastrillo de discos, el rendimiento promedio fue superior en 230 kg/Ha de forraje seco por corte, a favor del último. Esta diferencia fue más acentuada en los primeros cinco cortes, lo cual se explica fácilmente, puesto que la cal incorporada con discos queda más superficial e influye más rápidamente en los cambios de pH del suelo; cambios que van a favorecer directamente el desarrollo radicular de la alfalfa (17).

Estos resultados indican la importancia que tiene la incorporación de la cal con rastrillo de discos en el establecimiento de la alfalfa. Una vez que la alfalfa esté establecida y haya adquirido raíces profundas, el método de aplicación ya no influye en el desarrollo (17).

En cualquier forma como se distribuya la cal sobre el terreno, es aconsejable aplicarla al voleo y luego incorporarla con rastrillo.

TABLA 4. Efecto de los métodos de aplicar la cal en el rendimiento de la alfalfa en Tibaitatá.*

Método de incorporar la cal	Niveles de cal t/Ha				Promedio
	0	4	8	16	
A) Con arado	1.720	1.970	2.210	2.500	2.100
B) Mitad con arado y mitad con discos	1.810	2.190	2.270	2.140	2.120
C) Con discos	2.150	2.260	2.280	2.640	2.330
Promedio	1.890	2.140	2.250	2.430	

* Los rendimientos se refieren a kilogramos de forraje seco por hectárea. Promedio de los siete primeros cortes.

11. CADA CUANTO HAY QUE ENCALAR LOS SUELOS?

No existe una regla específica para determinar la duración del efecto de la cal en el suelo; ésta varía con el tipo de suelo, los cultivos sembrados, la erosión, la precipitación y lavado a que está expuesto el suelo y la clase y calidad de cal usada. Generalmente se considera que las aplicaciones de cal agrícola pueden durar de 4 a 6 años. En suelos arenosos por lixiviación durará menos que en los arcillosos, y la cantidad a aplicar por esa misma razón debe ser menor.

La mejor manera para determinar, cuando hay que aplicar cal es analizar el suelo por lo menos cada dos años.

12. RESPUESTA DE LOS CULTIVOS AL ENCALAMIENTO

12.1. El encalamiento en suelos derivados de cenizas volcánicas. ZONA CAFETERA.

En el país son relativamente escasos los experimentos de encalamiento en suelos de cenizas volcánicas. En estos suelos algunas propiedades físicas como son: la clase, textura, porosidad, permeabilidad, estabilidad de los gránulos y la capacidad para retener el agua son bastante uniformes y presentan valores que se pueden considerar óptimos para el desarrollo de las plantas (22).

En estos suelos hay algunas pruebas de encalamiento, realizadas en el Centro Nacional de Investigaciones de Café, Chinchiná-Caldas, en pasto, maíz, caña de azúcar, maní y frijol (22).

El trabajo con pasto se efectuó en la especie llamada micay (*Axonopus micay*), por ser uno de los más comunes de la zona cafetera. Durante 6 años se agregó al suelo anualmente, una tonelada de cal apagada por hectárea, acompañada de 100 kilogramos de nitrógeno, 100 kilogramos de fósforo y 100 kilogramos de potasio. Según el análisis conjunto de 20 cortes, en seis años de labores, no se encontró en la producción de pasto en seco, una respuesta absoluta de la cal, ni ayudó al aprovechamiento de los demás nutrientes (22).

El resultado fue diferente en maíz; en 12 cultivos sucesivos en el mismo suelo durante 6 años y con encalamientos anuales de 2 toneladas de cal apagada por hectárea acompañada de diferentes niveles de superfosfato, se encontró una respuesta favorable al encalamiento, lo mismo que un mejor aprovechamiento del fósforo. Desafortunadamente la respuesta al encalamiento fue muy favorable en las diferentes cosechas, resultando significativo la interacción entre cal y cosecha por lo cual no sería una práctica tan segura de recomendar a los agricultores (22).

En experimentos con caña de azúcar también hubo respuesta favorable a nivel de dos toneladas por hectárea, en un período de año y medio que es la duración vegetativa de un corte. Se observó además que el resultado repitiendo el encalamiento en tres cortes sucesivos, es detrimental (22).

Contrario a lo esperado, en leguminosas con maní y fríjol, la respuesta fue notable solo a bajos niveles de cal, favoreciéndose además en estas condiciones, la eficiencia de la fertilización con superfosfatos. En suelos de cenizas volcánicas el encalamiento en dosis superiores a 4 toneladas por hectárea fue detrimental para maní y fríjol (22).

12.2. Encalamiento en suelos de clima frío.

Los suelos de clima frío en Colombia en general, tienen reacción ácida con un pH entre 4.6 y 5.6, alto contenido de materia orgánica que varía entre 7 y 12 por ciento, excepto en los suelos localizados a alturas superiores a 2.800 metros sobre el nivel del mar, con temperatura media anual de 9.5°C y precipitación de 1.200 mm año, en donde el contenido de materia orgánica puede llegar hasta 40 por ciento (32).

La fertilidad de los suelos de clima frío en muchos casos es baja; responde a la aplicación de fósforo y nitrógeno, a pesar de su contenido alto en materia orgánica. La acidez y el bajo contenido de fósforo aprovechable inducen en la necesidad de agregar cal agrícola a los suelos, con el fin de corregir la acidez y favorecer la mineralización del fósforo y del nitrógeno, y naturalmente aumentar los rendimientos (32).

Los cultivos más importantes en las diferentes regiones frías son: papa, trigo, cebada, hortalizas, pastos y forrajes. En algunos lugares se explotan frutales, como manzano, durazno, pera, ciruela.

El Instituto Colombiano Agropecuario, ha realizado numerosos trabajos experimentales en el campo, con el fin de determinar las dosificaciones adecuadas de nitrógeno, fósforo, potasio, cal y elementos menores en cultivos de papa, trigo, cebada, maíz, alfalfa, hortalizas y pastos en general.

Los resultados para varias series de suelos en la Sabana de Bogotá y distintas localidades de Boyacá, se pueden resumir en la forma siguiente de acuerdo a Vega y Navas (32).

1. En la serie Cabrera hubo respuestas al encalamiento de los cultivos de papa, maíz y cebada.
2. En la serie Río Bogotá, en ensayos de campo e invernadero, se obtuvieron respuestas al encalamiento con trigo, alfalfa y cebada.
3. En la serie Techo, el trigo presentó en el campo respuesta al encalamiento. También se encontraron respuestas positivas al encalamiento en las series Bermeo y Gachancipá.
4. En dos ensayos de campo en la serie Bonza (Boyacá) con trigo, se obtuvieron respuestas al encalamiento, sin embargo, en ensayos de invernadero con raigrás y en ensayos con papa en varias localidades, no se obtuvieron respuestas al encalamiento.

En las series en que presentaron mayores respuestas al encalamiento, como en la serie Cabrera, la saturación de Al es bastante alta; por otra parte la saturación de Al es baja en la serie Tibaitatá, en la cual no se obtuvieron respuestas apreciables (32).

12.3. Encalamiento en Suelos de zonas cálidas y húmedas de Colombia.

La región húmeda tropical de Colombia representa el 36 por ciento de la superficie territorial del país. La mayor parte de los suelos de esta región ofrecen problemas de acidez, debido a las condiciones climáticas (5).

El requerimiento de cal de estos suelos varía de moderado a alto; para adecuar los suelos de estas zonas a la agricultura, es necesario agregar fertilizantes a causa de su baja capacidad de producción, la que se acentúa con el número de las cosechas; es preciso, además eliminar los problemas de la acidez, lo que se hace a través del encalamiento de los suelos (5).

Sin embargo en el estudio del encalamiento de los suelos ácidos de las diferentes zonas de la región húmeda tropical de Colombia, se evidencian respuestas contradictorias. Hay casos en que la producción de las cosechas más bien decrecen, en vez de aumentar, lo que puede asociarse a los efectos perjudiciales que origina la cal en el suelo (5).

Previamente a la aplicación de cal a un suelo, el problema debe estudiarse cuidadosamente, en conjunto con la aplicación de fertilizantes. Es necesario darle especial importancia a los ensayos de campo, que directamente manifiestan la respuesta del suelo al encalado (5).

13. RESPUESTA DE GRAMÍNEAS Y LEGUMINOSAS FORRAJERAS AL ENCALAMIENTO

Durante 14 años, el Programa de Pastos y Forrajes del ICA, ha realizado investigaciones sobre la respuesta de gramíneas y leguminosas forrajeras a la aplicación de cal agrícola. Los experimentos se han realizado en zonas donde predominan suelos ácidos, a saber: Parte alta del sistema andino central (suelos negros); suelos rojos de clima medio, y Piedemonte Llanero y Llanos Orientales (15).

Se ha trabajado con las principales especies que crecen en las diferentes regiones climáticas del país, y se ha dado mayor énfasis a las gramíneas que a las leguminosas. Cada experimento incluía tres o cuatro repeticiones y el principal criterio que se siguió para determinar la respuesta a la aplicación de cal fue la producción de materia seca. Lotero y otros (15) informan que como resultados de los ensayos se pueden sacar las siguientes conclusiones:

1. En general, las gramíneas respondieron muy poco a la aplicación de cal.
2. Los pastos orchoro, raigrás y kikuyo en la meseta de Río Negro (Ant.), la avena en la meseta de Popayán, y el elefante y brachiaria en suelo rojo de clima medio, Piedemonte Llanero y Llanos Orientales, respondieron más o menos satisfactoriamente a la aplicación de cal.
3. El gordura, puntero, pangola e imperial, parecen bastante tolerantes a una acidez alta en el suelo.
4. Para un buen establecimiento y alta producción de forrajes de alfalfa es necesario encalar los suelos ácidos.
5. La aplicación de cal acelera el establecimiento de gramíneas y leguminosas.
6. Para obtener una adecuada proporción de leguminosas, es necesario encalar los suelos ácidos.
7. En suelos rojos de clima medio y en el Piedemonte Llanero y Llanos Orientales, no es posible establecer leguminosas sin aplicación de fertilizantes y cal.

8. Es necesario estudiar otros aspectos relacionados con la aplicación de cal, como dosis más bajas, frecuencias de aplicación, grado de finura y contenido de carbonatos.

14. RESUMEN

1. La acidez del suelo es un factor limitante para la mayoría de los cultivos de las regiones del país localizadas en las cordilleras andinas, en los valles interandinos de aluviones ácidos y en las tierras cálidas del Caquetá, Putumayo, Llanos Orientales y en general, donde el clima se caracteriza por lluvias frecuentes e intensas.
2. En el laboratorio el grado de acidez del suelo llamado también reacción del suelo se mide por medio de un instrumento llamado potenciómetro que la expresa directamente en términos de pH. El pH tiene mucha importancia en la aprovechabilidad de los nutrientes que requiere la planta y en la incidencia de enfermedades de éstas.
3. Hay mucha diferencia entre diversas plantas en cuanto a su tolerancia a la acidez. Mientras la mayoría de los cultivos de climas templados toleran muy poca acidez, especialmente leguminosas; hay muchas plantas tropicales que la toleran en diferentes grados. Por lo tanto, para evitar gastos excesivos en el encalamiento, parece lógico la siembra de especies que no requieran cal o que requieran muy poca.
4. Para neutralizar la acidez del suelo, o en otras palabras subir el pH, se puede utilizar la cal o las Escorias Thomas (Calfos). Existen cuatro clases de cal: cal agrícola, cal viva, cal apagada, y cal dolomítica. La primera es la más utilizada en el país. Los materiales para encalar los suelos difieren marcadamente en su capacidad para neutralizar.
5. La cal además de corregir la acidez del suelo proporciona el nutriente calcio y/o magnesio, acelera la descomposición de la materia orgánica y aumenta el grado de asimilación del fósforo, reduce la actividad de sustancias tóxicas y mejora la estructura y cualidades físicas del suelo.
6. En términos generales, las recomendaciones de cal se basan principalmente en el pH y el contenido de aluminio intercambiable en los suelos. En general, en suelos con un pH inferior a 5.5 y menos de 10 por ciento de materia orgánica se recomienda aplicar una y media toneladas de cal agrícola, que contenga por lo menos un 80 por ciento de CaCO_3 por cada miliequivalente de aluminio intercambiable presente en 100 gramos de suelo.

7. La aplicación de la cal al suelo debe hacerse de manera uniforme, sea con la mano, con pala o maquinaria especial y por lo menos un mes antes de la siembra, con el objeto de que al momento de sembrar no haya reacción del fósforo de los fertilizantes, con el aluminio del suelo. En cualquier forma como se distribuya la cal sobre el terreno, es aconsejable incorporarla con rastrillo, en esta forma la cal queda mejor distribuida en el volumen del suelo que servirá de zona radicular.
8. No existe una regla específica para determinar la duración del efecto de la cal en el suelo. Esta varía con el tipo de suelo, los cultivos sembrados, la precipitación y lavado a que está expuesto el suelo y la clase de cal usada. La mejor manera para determinar cuando hay que aplicar cal es analizar el suelo por lo menos cada dos años.

15. BIBLIOGRAFIA

1. BLACK, C.A. 1960. *Soil Plant Relationships*. John Wiley and Sons. Inc. New York. 332 p.
2. BOLLARD, E.G. y G.N. BUTLER. 1966. *Mineral Nutrition of plant*. p. 77.112 *In: L. Machlis (Ed.) Annual Review of Plant Physiology* 17.
3. BUCKMAN, H.O. y N.C. BRADY. 1960. *The nature and properties of soils*. The MacMillan Co., New York, 567 p.
4. CORREA, J. 1969. Requerimientos de cal de los suelos orgánicos de La Selva, Rionegro (Ant.) Agric. Trop. Colombia 15:27-31.
5. DE ROZO, ESPERANZA. 1971. Encalamiento en suelos de zonas cálidas y húmedas de Colombia. *Suelos Ecuatoriales Colombia*. Vol. 3 (1):190-205.
6. EVANS, H.J. y N.S. HALL. 1955. Association of Molybdenum with nitrate reductaze. *Science* 122:922-923.
7. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. 1969. *Manual del Cafetero Colombiano*. Editorial Bedout. Medellín 338 p.
8. FOY, C.D. y J.C. BROWN. 1964. Toxic factors in arid soils. II Differential aluminum tolerance of plant species. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28:27-32.
9. GOMEZ, J.; D.F. ZORRILLA y V.J. PORRAS. 1969. Influjo de la relación Ca/Mg en la producción del maíz en el Valle del Río Cauca. *Agric. Trop. Colombia* XXV (2).
10. HEWITT, E.J. 1963. Essential nutrient elements for plants *In: Plant Physiology*, ed by E.C. Steward, Academic Press, New York, 3:143-292.
11. KAMPRATH, E.J. 1967. Soil Acidity and response to liming. *International Soil Testig*. North Carolina State University. Raleigh. U.S. Technical Bulletin No. 4. 17 p.
12. LEON, A. 1968. Relaciones de calcio, magnesio y potasio en suelos de La Florida. Popayán. *Agric. Trop. Colombia* 24:335-345.
13. LEON, A. 1971. Teorías modernas sobre la naturaleza de la acidez del suelo. *Suelos Ecuatoriales, Colombia* Vol. 3(1):1-23.

14. LORA, R. y G. RIVEROS. 1971. Problemas fisiológicos de plantas en suelos ácidos. Suelos Ecuatoriales Colombia (Ed.). Anual Review of Plant Physiology 17.
15. LOTERO, J.; S. MONSALVE; A. RAMIREZ y F. VILLAMIZAR. 1971. Respuesta de gramíneas y leguminosas forrajeras al encalamiento. Suelos Ecuatoriales, Colombia Vol. 3(1):210-239.
16. MAASS, E.C.; D.V. MOORE and B.J. MASON. 1969. Influence of Calcium and Magnesium on manganese absorption. Plant Physiology 44(6):796-800.
17. MARIN, G. 1960. La producción de la alfalfa en Colombia, VIII. Encalamiento de los suelos en la Sabana de Bogotá para cultivar alfalfa. Agric. Trop. Colombia 16: 149-160.
18. MARIN, G.J. GOMEZ. 1966. Algunos aspectos del análisis de suelos V: Factores que deben tenerse en cuenta al hacer recomendaciones de fertilizantes y cal. Agric. Trop. Colombia. 22:426-432.
19. MARIN, G. 1967. Algunas sugerencias sobre el uso de fertilizantes y cal. Agric. Trop. Colombia 23:61-65.
20. MARIN, G. y A. LEON. 1971. Generalidades sobre la fertilidad de los suelos Colombianos. Instituto Colombiano Agropecuario ICA. Boletín Técnico No. 11 p. 12-13.
21. MARINOS, M.G. 1962. Studies on submicroscopic aspects of mineral deficiencies 1. Calcium deficiency in the shoot apex of barley. Ann Bot. 49:834-841.
22. PARRA, J. 1971. El encalamiento de cinco cultivos en suelos derivados de cenizas volcánicas, zona cafetera. Suelos Ecuatoriales, Colombia. Vol. 3(1):170-189.
23. PEARSON, R.W. y F. ADAMS. 1967. Soil acidity and liming. American Society of Agronomy No. 12 Madison, Wisconsin, U.S.
24. PONNAMPERUMA, F.M. 1965. Dynamic aspects of flooded soils. In: The Mineral Nutrition of the Rice Plant. The John Hopkins Press Baltimore, Maryland, pp. 305-306.
25. RANDALL, P.J. and P.B. VOSE. 1963. Effect of aluminium on uptake and translocation of phosphorous by perennial ryegrass. Plant Physiology 38:403-409.
26. RIOS, M.A. y R.W. PEARSON. 1964. The effect of some chemical environmental factors of cotton on root behavior. Soil Sci. Soc. Amer Proc. 28:232-235.
27. RODRIGUEZ, M. y J. CORREA. 1966. Efecto de la aplicación de cal en el grado de acidez de tres suelos rojos de Antioquia. Agric. Trop. Colombia 22:47-54.
28. SOIL REACTION. 1951. In: Soil Survey Manual U.S. Dep. Agriculture Hanbook No. 18 p. 235.
29. SPAIN, J.E. 1971. El problema de la acidez en suelos de los Llanos Orientales: posibles soluciones. Suelos Ecuatoriales. Vol. 3(1):206-209.
30. SPRAGUE, H.B. 1964. Hunger signs in crops. Why do plants starve David McKay Co. New York. 18 p.
31. TISDALE, S.L. y W.L. NELSON. 1966. Soil Fertility and Fertilizers. The McMillan Co. New York. 694 p.
32. VEGA, V. y J. NAVAS. 1971. Encalamiento en suelos de clima frío. Suelos Ecuatoriales, Colombia. Vol. 3(1):170-189.
33. WEGENER, J.F. 1946. Manual de Suelos. La Motte. pp. 3-29.

CAL CULTIVO
La Dolomítica con más Maestro
Obraquio de Promical

La propiedad intelectual de este material pertenece al Instituto Colombiano Agropecuario ICA. El ICA autoriza la reproducción total o parcial siempre y cuando se cite el título y la página de esta publicación y se indique que la obra se puede obtener directamente en el ICA, Apartado Aéreo 151123 de Bogotá. PROHIBIDA SU REPRODUCCION PARA FINES COMERCIALES. (Resolución No. 758 de 1976, del ICA).

Publicación del ICA
Código: 01-3.4-003-79
División de Comunicación, Tibaitatá
Apartado Aéreo 151123 Bogotá
Editor: Luis Armando Mayorga D. Ing. Agr.
Ejemplares: 2.000
Tercera reimpresión - Septiembre 1986