

## 2. ACIDEZ Y ENCALADO DE LOS SUELOS

J. Gildardo Marín M.\*

Rodrigo Lora S.

La acidez del suelo es un problema para la mayor parte de los agricultores de Colombia localizados en las cordilleras andinas, en los valles interandinos de aluviones ácidos y en los Llanos Orientales, Caquetá, Putumayo, y demás regiones donde el clima se caracteriza por lluvias frecuentes e intensas (Correa, 1969 ; Marín y Lora, 1974 ; Rodríguez y Correa, 1966).

La acidez del suelo generalmente se origina por la acción integrada de los factores de formación del suelo, pero puede ser agravada 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 (Kamprath, 1967).

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

---

\* Respectivamente : Ingeniero Agrónomo, M.S. e Ingeniero Químico M.S.  
Programa de Suelos. Instituto Colombiano Agropecuario. Tibaitatá  
Apartado Aéreo 151123. Bogotá, Colombia.

esto es importante conocer los efectos perjudiciales del exceso de acidez y la manera de corregirlos, así como también los beneficios del encalado.

La aplicación de cal al suelo es útil por las siguientes razones :

1. Corrige la acidez, neutralizando al aluminio (Al) y al hidrógeno (H) intercambiables y de la solución del suelo ; neutralización muy importante ya que concentraciones altas de Al e H en el suelo pueden provocar disturbios fisiológicos en muchas plantas.
2. Proporciona calcio. El Calcio (Ca) es un nutrimento esencial para el crecimiento de las plantas. Los suelos extremadamente ácidos son muy bajos en este elemento y no satisfacen las necesidades de la planta, especialmente si se trata de leguminosas.
3. Acelera la descomposición de la materia orgánica con lo cual se liberan nutrimentos. Los organismos responsables en este proceso funcionan más eficientemente cuando el pH es alto, y en un suelo que contenga una cantidad adecuada de calcio.
4. Garantiza o aumenta la disponibilidad de los fosfatos aplicados y de los residuales, o sea aumenta el grado de aprovechabilidad del fósforo. En condiciones ácidas, el fósforo tiende a combinarse con hierro (Fe) y aluminio, formando compuestos insolubles no asimilables por las plantas.

5. Reduce la actividad de formas tóxicas de algunos elementos del suelo como aluminio y hierro y aumenta la disponibilidad de otros nutrimentos como nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S).
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-limo-arcilla). Por esta razón puede aumentar la permeabilidad de los suelos al aire y al agua.

## 2.1. PROBLEMAS FISIOLÓGICOS DE LAS PLANTAS EN SUELOS ACIDOS.

Cuando se modifican las condiciones de acidez y alcalinidad de un suelo, simultáneamente cambian muchas propiedades del mismo. Las 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 sus diferentes características. 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 o la importancia de los varios componentes puede variar de un caso a otro (Lora y Riveros, 1971).

Bollar y Butler (1966) consideraron que los efectos adversos de la acidez del suelo en el crecimiento de las plantas pueden ser atribuidos a los siguientes factores :

### 2.1.1. Deficiencias de Calcio y Magnesio.

Constantemente 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 e interrupción del crecimiento.  
En muchas plantas los síntomas son semejantes a los de toxicidad producida por el Aluminio.
2. Desarrollo pobre de la raíz, posiblemente debido al requerimiento de Ca en la estructura membranosa, el cual se agudiza en células en división. Como el Ca se trasloca muy difícilmente, la primera parte en ser afectada es el ápice.
3. Crecimiento retardado y formación tardía de frutos y semilla.

Ordinariamente, la deficiencia de Calcio está acompañada de una deficiencia de magnesio (Mg). 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 una deficiencia de magnesio bajo la forma de clorosis, aparece en las hojas más viejas.

### 2.1.2. Deficiencia de Molibdeno Causada por Baja Disponibilidad .

Los síntomas de deficiencia del molibdeno (Mo) generalmente reflejan

el régimen de nitrógeno al cual están expuestas las plantas. Algunas crucíferas como la coliflor (Brassica oleracea L.) con deficiencias de molibdeno presentan el síntoma llamado cola de látigo. La pérdida de la lámina foliar ocurre en las hojas jóvenes dejando expuesta la nervadura central. El molibdeno es cofactor de la enzima nitrato reductasa (Lora y Riveros, 1971). 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 observado que el molibdeno actúa como portador de electrones en las reacciones de reducción de los nitratos, lo cual explica la acumulación de éstos en las plantas deficientes en molibdeno (Evans y Hall, 1955).

### 2.1.3. Toxicidad por Exceso de Aluminio y Manganeso.

La evidencia de toxicidad del aluminio en suelos ácidos representa una combinación de efectos, de los cuales el más visible es la inhibición del crecimiento de la raíz. El examen microscópico ha mostrado un gran número de células con dos núcleos en la región meristemática de la raíz, lo cual indica inhibición de la división celular (Ríos y Perarson, 1964).

La toxicidad del manganeso (Mn) se manifiesta en dos formas : la primera es un efecto indirecto cuyo resultado es la 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 manganeso (Foy y Brown, 1964).

#### 2.1.4. Deficiencia de Fósforo.

En general la disponibilidad del P disminuye con la acidez. Existen evidencias de que un exceso de Al en solución, en suelos fuertemente ácidos, causa deficiencia de P en la planta, por formación de compuestos insolubles fuera de ella o por inactivación del P absorbido por la raíz (Randall y Vose, 1963). A medida que el pH aumenta, el Al es precipitado en el suelo, y no ocurre la inactivación del P en la planta.

#### 2.1.5. Efecto Directo del pH (Concentración de Iones Hidrógeno).

La toma de cationes por la planta es afectada por la acidez del suelo y de las soluciones nutritivas. Si el pH es extremadamente bajo, no hay absorción y los cationes previamente absorbidos tienden a fugarse de la planta hacia la solución del suelo. Posiblemente los iones  $H^+$  disminuyen la toma de cationes debido a su proceso competitivo, pero el Ca reduce o previene este problema (Buckman y Brady, 1960).

## 2.2. MEDIDA DE LA ACIDEZ DEL SUELO.

Los iones  $H^+$  que se encuentran libres en la solución del suelo dan origen

a lo que se denomina "acidez activa". Los iones  $H^+$  y  $Al^{+++}$  que están neutralizando cargas negativas de la fracción coloidal del suelo y formando compuestos, dan origen a lo que se denomina "acidez potencial". La "acidez intercambiable" se refiere a los iones  $H^+$  y  $Al^{+++}$  que se encuentran absorbidos en la fracción coloidal del suelo (Buckman y Brady, 1960).

Paver y Marshall, 1934; demostraron, por primera vez, que la acidez intercambiable de las arcillas ácidas, era debida principalmente al  $Al^{+++}$ , puesto que este era el catión intercambiable más abundante en el extracto de arcillas tratadas con una solución de una sal neutra. Por otra parte Coleman y Graig, 1931; sostuvieron de que existe muy poco  $H^+$  intercambiable en los suelos minerales de regiones húmedas, y que las arcillas monmorilloníticas y caoliníticas, saturadas con  $H^+$  cambian espontáneamente para formar arcillas saturadas con  $Al^{+++}$  y  $Mg^{++}$  o con  $Al$  únicamente y, que solo en suelos ácidos con alto contenido de materia orgánica se encuentra algo de  $H^+$  intercambiable.

Muchos suelos contienen gran cantidad de acidez titulable (acidez no intercambiable) después de que el  $Al$  ha sido removido con una solución de una sal neutra. Según Broadbent y Bradford (1952); una porción de esta acidez está asociada con la materia orgánica a valores de pH menores a 7; el grupo carboxilo ( $COOH^-$ ) es el responsable de la acidez aportada por la fracción orgánica del suelo.

Muchos suelos de los órdenes Ultisoles y Oxisoles tienen una gran cantidad de acidez no intercambiable que puede ser reemplazada o determinada con una

solución tamponada a pH 8,1 que no es reemplazada con una solución de una sal neutra. Coleman y Thomas (1964) postularon que una gran porción de la acidez no intercambiable era debida a la ionización de los iones  $H^+$  de los hidróxidos de hierro y aluminio trivalentes, que existen en la superficie de la arcilla o entre los espacios de las mismas.

La acidez total del suelo puede determinarse utilizando el procedimiento del  $BaCl_2$ -trietanolamina tamponada a un pH de 8,2. Al sustraer de la acidez total la acidez intercambiable, se tiene una medida de acidez no intercambiable (León, 1971).

### 2.2.1 El pH del Suelo.

El pH es una medida de la concentración de los iones  $H^+$  en una solución. Los iones  $H^+$  y  $OH^-$  provienen de la ionización de las moléculas de agua de acuerdo con el siguiente esquema :



La extensión a la cual el agua se ioniza puede expresarse en términos de una constante de ionización  $K_{H_2O}$ , que se expresa así :

$$K_{H_2O} = (H^+) (OH^-) \quad 1$$

$(H^+)$  y  $(OH^-)$  son las concentraciones de iones hidrógeno e hidroxilo, expresadas como miliequivalentes por litro. Un equivalente de

un ión es el peso en gramos de ese ión que contiene  $6,023 \times 10^{23}$  partículas. El valor de  $K_{H_2O}$  es  $10^{-14}$ , a  $22^\circ C$ , y en cualquier sistema acuoso, a esta temperatura, el producto de las concentraciones de los iones hidrógeno e hidroxilo es  $10^{-14}$ ; de donde  $(H^+) (OH^-) = 10^{-14}$ .

Por lo tanto, la ecuación 1 puede escribirse en la siguiente forma :

$$\text{Log } \frac{1}{K_{H_2O}} = \text{Log } \frac{1}{(H^+)} + \text{Log } \frac{1}{(OH^-)} = 14 \quad 2$$

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

pH = Logaritmo del recíproco de la concentración 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 de pH va de 0 a 14. El grado 1 corresponde a la mayor acidez. El grado 14 corresponde a la mayor alcalinidad. Por su parte el grado 7 corresponde a las sustancias neutras.

En el laboratorio el grado de acidez del suelo, llamado también reacción del suelo, se mide por medio del potenciómetro (Figura 1) que

la expresa en términos de pH. De acuerdo con los valores de pH, la acidez del suelo tiene varios grados tal como se observa en la Tabla 1.



FIGURA 1. Potenciómetro, aparato utilizado para medir el grado de acidez (pH) del suelo.

TABLA 1. Nombre de la reacción del suelo de acuerdo con los valores del pH (Soil reaction, 1951).

Reacción del suelo	pH
Muy alcalino	Mayor 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	Menor de 4,3

### 2.2.2 El pH del Suelo y su Relación con los Nutrientos de las Plantas.

El pH tiene notable importancia en los suelos e 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 Fe, Mn, Zinc (Zn) y Boro (B). Por su parte el P, Ca, Mg, K, N y S son más disponibles en un pH de 6,5 a 7,5. El micronutriente Mo, es más disponible a un pH por encima de 7,0. La Figura 2 muestra más objetivamente esta propiedad, 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 nutrientes. 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, considerados como una de las formas de máxima utilización del nitrógeno por la planta.

### 2.3. TOLERANCIA DE LAS PLANTAS A LA ACIDEZ DEL SUELO.

Existen grandes diferencias entre diversas plantas en cuanto a su tolerancia a la acidez del suelo (Foy y Brown, 1964). 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, cuando la cal puesta en la finca

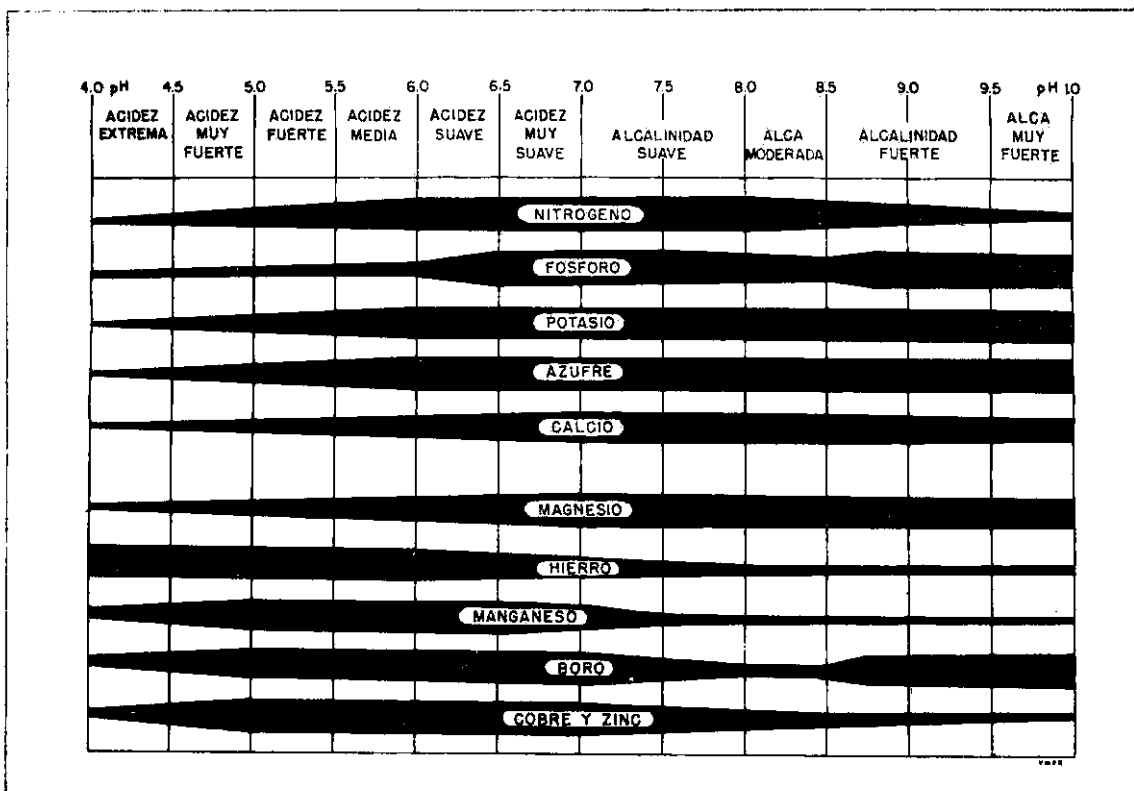


FIGURA 2. Efecto del pH del suelo en la disponibilidad de los nutrimentos.

resulta cara y para evitar los gastos excesivos del encalamiento, resulta lógica la siembra de especies que no requieran cal o que requieran muy poca (Mejía, 1975).

### 2.3.1. Diferencia de Especies de Plantas en la Tolerancia a la Acidez del Suelo.

Existen varias especies vegetales que son bastante tolerantes a la acidez del suelo. Se mencionan, entre los frutales, el mango (Mangifera indica L.), el marañón (Anacardium occidentale L.), la piña (Ananas sativus S.), el aguacate (Persea gratissima L.), los cítricos (Citrus spp.) el guayabo (Psidium guayaba L.), el ciruelo (Prunus domestica L.) y muchas otras. Entre las gramíneas y leguminosas forrajeras tolerantes a la acidez, Spain (1971) cita las siguientes especies : el pasto gordura (Melinis minutiflora) que es quizás el ejemplo más destacado entre las gramíneas, seguido por el pasto puntero (Hyparrhenia rufa) y varios pastos nativos de los Llanos Orientales, como el guaratara (Axonopus purpuri). Entre las leguminosas más tolerantes se encuentran : Stylosanthes , Centrocema , Desmodium, soya perenne (Glycine sp) y el kudzú (Pueraria phaseoloides). Así parece muy fácil lograr buenas mezclas de leguminosas y gramíneas para la ganadería de las regiones tropicales de Colombia, sin necesidad de encalar los suelos. Entre los cultivos anuales o semianuales que más requieren cal están la coliflor (Brassica oleracea L.) y la caña de azúcar (Saccharum officinarum L.); requieren menos cantidad, el maíz (Zea mays L.) y el algodónero (Gossipium spp).

Un caso muy especial es el del arroz. Es una planta que tolera

suelos bastante ácidos aun cuando se siembre en seco, 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 tendría un pH de 6,0 después de 2 a 3 semanas de inundación. En este caso la especie no es necesariamente resistente a la acidez. Parece que el arroz de seco 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 (Spain, 1971).

En general, casi todas las plantas crecen y producen mejor en suelos con un pH entre 5,5 y 7,3. La Tabla 2 muestra los límites aproximados de tolerancia de pH para algunos cultivos.

TABLA 2. Límites de Tolerancia de pH adecuado para algunos cultivos (Marín y Lora, 1974).

pH 4,8 a 5,5	pH 5,6 a 6,4	pH 6,5 a 7,3
Piña, papa, fique, yuca y pastos : gordura, puntero, pangola e imperial	Maíz, soya, frijol, manzano, maní, algodón, trigo, cebada, avena, lechuga, cebolla, repollo, remolacha, tomate, tabaco, arroz y guayabo	Alfalfa, coliflor, aguacate, trébol, cacao, vid, maracuyá y caña de azúcar

A veces cuando se modifica la reacción del suelo es preciso hacerlo en forma tal, que si bien no se consigue el mejor desarrollo del cultivo se logre en cambio evitar la presencia de ciertas enfermedades. Por ejemplo, la "costra" o "sarna" de la papa que es causada por el microorganismo Actinomyces scabies encuentra su medio más apropiado en los suelos alcalinos; la acidez del terreno le es altamente perjudicial. Otro ejemplo : la "podrición de la raíz del tabaco" se puede presentar en terrenos cuya reacción es de 6,0 o más, pero cuando el pH es inferior a 5,6 la enfermedad rara vez se presenta (Marín y Lora, 1974).

### 2.3.2. Tolerancia Varietal a la Acidez del Suelo.

Una de las soluciones al problema de la baja productividad de los suelos, debido principalmente a las deficiencias severas de P y a la extrema acidez, es la selección de variedades que se adapten a estas condiciones. Varios investigadores han estudiado la tolerancia de algunas variedades a la acidez del suelo. Foy y colaboradores (1969) mostraron que la tolerancia diferencial en variedades de soya puede estar relacionada con el contenido de Ca en el suelo. Por su parte Lee (1972) encontró que la tolerancia, de algunas variedades de papa a la acidez del suelo, estaba relacionada con la habilidad para absorber Mg y K.

Mejía (1975) trabajó con tabaco negro (Nicotiana tabacum L.), en suelos ácidos de los Llanos Orientales de Colombia y clasificó las

variedades de acuerdo con la acidez del suelo así :

- a. Resistentes a 2 meq de Al/100 g de suelo y a pH 4,8. En este grupo está la variedad Cubita 12.
- b. Variedades resistentes a 1 meq de Al/100 g de suelo y pH 5,2. En este grupo están las variedades : Lanoso de Villanueva, Colombia 37 y Línea 5.
- c. Variedades susceptibles a 0.3 meq de Al/100 g de suelo y pH 6,2. En este grupo está la variedad García 3.

En otro estudio se encontró que la tolerancia a la acidez del suelo por las distintas variedades de tabaco, parece estar relacionada con la habilidad para utilizar el P, el Ca y el Mg en presencia de concentraciones altas de Al (Mejía, 1975).

#### 2.4. MATERIALES UTILIZADOS PARA NEUTRALIZAR LA ACIDEZ DEL SUELO.

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

##### 2.4.1. Cal Agrícola

Es el producto formado principalmente por 70 por ciento mínimo de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ). En la forma natural se encuentra como piedra caliza o piedra de cal.

#### 2.4.2. 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 ( $\text{CaO}$ ) y se encuentra en el comercio en forma de terrones más o menos grandes. Para aplicarla al suelo se debe pulverizar. Inmediatamente después de su aplicación absorbe agua y forma gránulos que se endurecen por la formación en sus superficies de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ); en este estado puede permanecer en el suelo por largo tiempo. Su aplicación se recomienda solamente cuando se pueda asegurar una mezcla completa en el suelo pues existe el peligro de "quemar" la semilla.

#### 2.4.3. 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 (Tisdale y Nelson, 1966).

#### 2.4.4. Cal Dolomítica.

Es una mezcla de carbonatos de calcio y de magnesio. Generalmente contiene 40 por ciento de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y 8 a 10 por ciento de carbonato de magnesio ( $\text{MgCO}_3$ ). Esta cal tiene mucha

importancia en suelos ácidos deficientes en magnesio (Tisdale y Nelson, 1966).

#### 2.4.5. 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 (aproximadamente 14% de  $P_2O_5$ ) y mediano de  $CaCO_3$ . Se aplican 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 P como los de los Llanos Orientales.

#### 2.4.6. Escorias de Alto Horno.

Son un producto rico en silicato de calcio, con cierta cantidad de magnesio y hierro. Aunque acerías Paz del Río las produce en grandes cantidades, han tenido poca utilización.

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 los suelos, teniendo como base el contenido de carbonato de calcio puro ( $CaCO_3$ ) con un poder neutralizante del 100 por ciento (Tisdale y Nelson, 1966).

TABLA 3. Equivalente de  $\text{CaCO}_3$  de varios materiales de encalado  
(Marín y Lora, 1974).

Nombre Común	Fórmula química	Equivalente de $\text{CaCO}_3$ (%)
Carbonato de calcio puro	$\text{CaCO}_3$	100
Caliza - Cal agrícola	$\text{CaCO}_3$	70-95
Cal viva	$\text{CaO}$	150
Cal apagada	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	120
Cal dolomítica	$\text{CaCO}_3\text{-MgCO}_3$	110
Escorias Thomas o Calfos		60-70
Escorias de alto homo		75-90

## 2.5. RESPUESTA DE LOS CULTIVOS AL ENCALADO.

### 2.5.1. Encalado en Suelos de Zonas Cálidas y Húmedas de Colombia.

Las regiones húmeda tropical y montañosa de Colombia representan aproximadamente el 60-70 por ciento de la superficie territorial del país. La mayor parte de los suelos de estas regiones ofrecen problemas de acidez, debido a las condiciones climáticas. El requerimiento de cal de estos suelos varía de moderado a alto.

Spain y colaboradores (1974) estudiaron en los Llanos Orientales, la tolerancia diferencial a la acidez del suelo en algunos cultivos cot.

maíz, arroz, yuca, leguminosas de grano y algunas especies de pasto. En la Tabla 4 se presentan las cifras sobre los requerimientos de cal en toneladas por hectárea de diferentes cultivos alimenticios. Las variedades tradicionales de arroz solamente responden a 0,4 t /Ha de cal, mientras que las variedades semienanas dieron respuesta hasta de 4 t /Ha. Los frijoles y la soya respondieron hasta 6 t /Ha de cal, mientras que la respuesta del caupí solamente llegó a 0,5 t /Ha. Los frutales y la yuca presentaron los requerimientos más bajos en cal : de 250 a 500 Kg /Ha.

#### 2.5.2. El Encalado de Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas, Zona Cafetera.

En el país son relativamente escasos los experimentos de encalado en suelos derivados de cenizas volcánicas. En estos suelos algunas de sus propiedades como clase de textura, porosidad, permeabilidad, estabilidad de los gránulos y capacidad para retener el agua son bastante uniformes y presentan valores que se pueden considerar óptimos para el desarrollo de las plantas (Parra, 1971).

El Centro Nacional de Investigaciones de Café - CENICAFE, ha realizado algunas pruebas de encalado en pastos, maíz, caña de azúcar, maní y frijol. Los resultados más sobresalientes de estas pruebas fueron recopilados por Parra (1971) y sus conclusiones se citan a continuación.

TABLA 4. Cultivos alimenticios adaptables a suelos álicos (alto contenido de aluminio) con un mínimo de requerimiento de cal (Spain, Francis y otros, 1974).

Cultivo	Nombre científico	Requerimientos de cal (toneladas por hectárea)		
Arroz de secano	<u>Oriza sativa</u> L.	0,33	-	0,5
Yuca	<u>Manihot sculenta</u> C.	0,25	-	0,5
Plátano (topocho)	<u>Musa paradisiaca</u> L.	0,25	-	2,0
Caupí (grano)	<u>Vigna sinensis</u> L.	0,50	-	1,0
Maní	<u>Arachis hipogea</u> L.	0,50	-	2,0
Maíz (grano)	<u>Zea mays</u> L.	1,00	-	2,0
Fríjol negro	<u>Phaseolus</u> sp.	2,00		
Ajonjolí	<u>Sesamun orientale</u> L.	2,00		
Sorgo	<u>Sorghum vulgare</u> L.	1,00	-	2,0
Mango	<u>Mangifera indica</u> L.	0,25	-	0,5*
Marañón	<u>Anacardium occidentale</u> L.	0,25	-	0,5*
Cítricos	<u>Citrus</u> spp.	0,25	-	0,5*
Piña	<u>Ananas sativus</u> S.	0,25	-	0,5*

\* Límites tentativos.

En un estudio con pasto micay (Axonopus micay) se agregó al suelo anualmente una tonelada de cal apagada por hectárea durante 6 años, acompaña-

da de 100 Kg de N, 100 kg de  $P_2O_5$  y 100 kg de  $K_2O$ . Según el análisis conjunto de 20 cortes, en los seis años que duró el registro de las observaciones, no se encontró una respuesta absoluta a la cal, ni se mejoró el aprovechamiento de los demás nutrimentos.

En maíz, el resultado fue diferente. En 12 cultivos sucesivos en el mismo suelo durante 6 años y con encalamientos anuales de 2 toneladas de cal apagada por Ha, acompañada de diferentes niveles de superfosfato, se encontró una respuesta favorable al encalado, lo mismo que a un mayor aprovechamiento del fósforo. La respuesta al encalado fue muy variable en las diferentes cosechas, resultando significativa la interacción entre cal y cosecha, por lo cual no sería una práctica tan segura de recomendar a los agricultores.

En un experimento con caña de azúcar también hubo respuesta favorable a dos toneladas por hectárea, en un período de año y medio, que es la duración vegetativa de un corte. En cambio, se observó además, que repitiendo el encalado en tres cortes sucesivos su efecto es detrimental.

Contrario a lo esperado, en leguminosas como maní y frijón, la respuesta fue notable solo a bajos niveles de cal, favoreciéndose además en estas condiciones, la eficiencia de la fertilización con superfosfato. El encalado en dosis superiores a 4 toneladas por hectárea fue perjudicial para maní y frijón.

### 2.5.3. Encalado 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, donde la temperatura media anual es de 9,5 °C o menos y la precipitación de 1.200 mm/año, situación en la cual el contenido de materia orgánica puede llegar hasta 40 por ciento (Vega y Navas, 1971).

Los cultivos más importantes en las diferentes regiones frías del país 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 cal en la mayoría de estos cultivos.

Los resultados obtenidos en la Sabana de Bogotá y distintas localidades de Boyacá, han indicado que las respuestas a la cal dependen principalmente del contenido de Al intercambiable del suelo. En las series en que se presentaron mayores respuestas al encalado, 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 (Vega y Navas, 1971).

## 2.6. RECOMENDACIONES DE CAL.

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

### 2.6.1. Cantidad de Cal para Corregir la Acidez del Suelo.

Las recomendaciones de cal, con el propósito de corregir la acidez del suelo, se basan principalmente en el pH y el contenido de Al intercambiable en los suelos. En general, en suelos con un pH inferior a 5,5 y menos de 10 por ciento de materia orgánica y en suelos con más de 10 por ciento de materia orgánica y con un pH de 5,0 se recomienda aplicar una y media tonelada de cal agrícola, que contenga por lo menos un 80 por ciento de  $\text{CaCO}_3$  por cada miliequivalente de Al intercambiable presente en 100 gramos de suelo. El Al intercambiable debe aparecer por consiguiente en los resultados de los análisis de suelos (Marín, 1967; Marín y Lora, 1974).

El carbonato de calcio puro ( $\text{CaCO}_3$ ) 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 encalado 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 requiere 1.070 Kg/Ha de cal viva (CaO), ya que de acuerdo con la composición molecular de estos materiales 1.500 Kg de  $\text{CaCO}_3$  contienen 600 Kg de Ca y 1.070 de CaO también contienen 600 Kg de Ca.

En algunos suelos ácidos, se encuentra muy frecuentemente que la relación Ca : Mg es muy pequeña (León, 1971). Al agregar cal agrícola a estos suelos se agrava el desequilibrio entre Ca y Mg, por lo tanto se pueden inducir severas deficiencias de Mg 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 otros suelos la relación Ca : Mg es inferior a la unidad, lo cual ocasiona otra clase de problema (Rodríguez y Correa, 1966).

#### 2.6.2. Epoca de Aplicación de la Cal.

Los suelos se encalan con el propósito de neutralizar el Al intercambiable y el H ; por consiguiente la aplicación debe hacerse por lo menos con un mes de anticipación a la siembra con el objeto de que no haya reacción del P de los fertilizantes con el Al del suelo (Kamprath, 1967).

La constitución molecular y la pureza, 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 3, en la cual las curvas presentadas 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.

### 2.6.3. Métodos de Aplicación de la cal.

El encalado puede hacerse distribuyendo la cal con la mano, con pala o con maquinaria especial. El método de encalado con la mano es el mismo de la 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. 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. Hay maquinaria especial para aplicar cal en terrenos planos que permite una distribución uniforme en proporciones adecuadas.

La aplicación de cal en bandas u otras formas de aplicación localizada, han sido estudiadas por el ICA. Se han efectuado algunos trabajos para estudiar la posibilidad de aplicar cal en bandas de 15 cm de ancho por

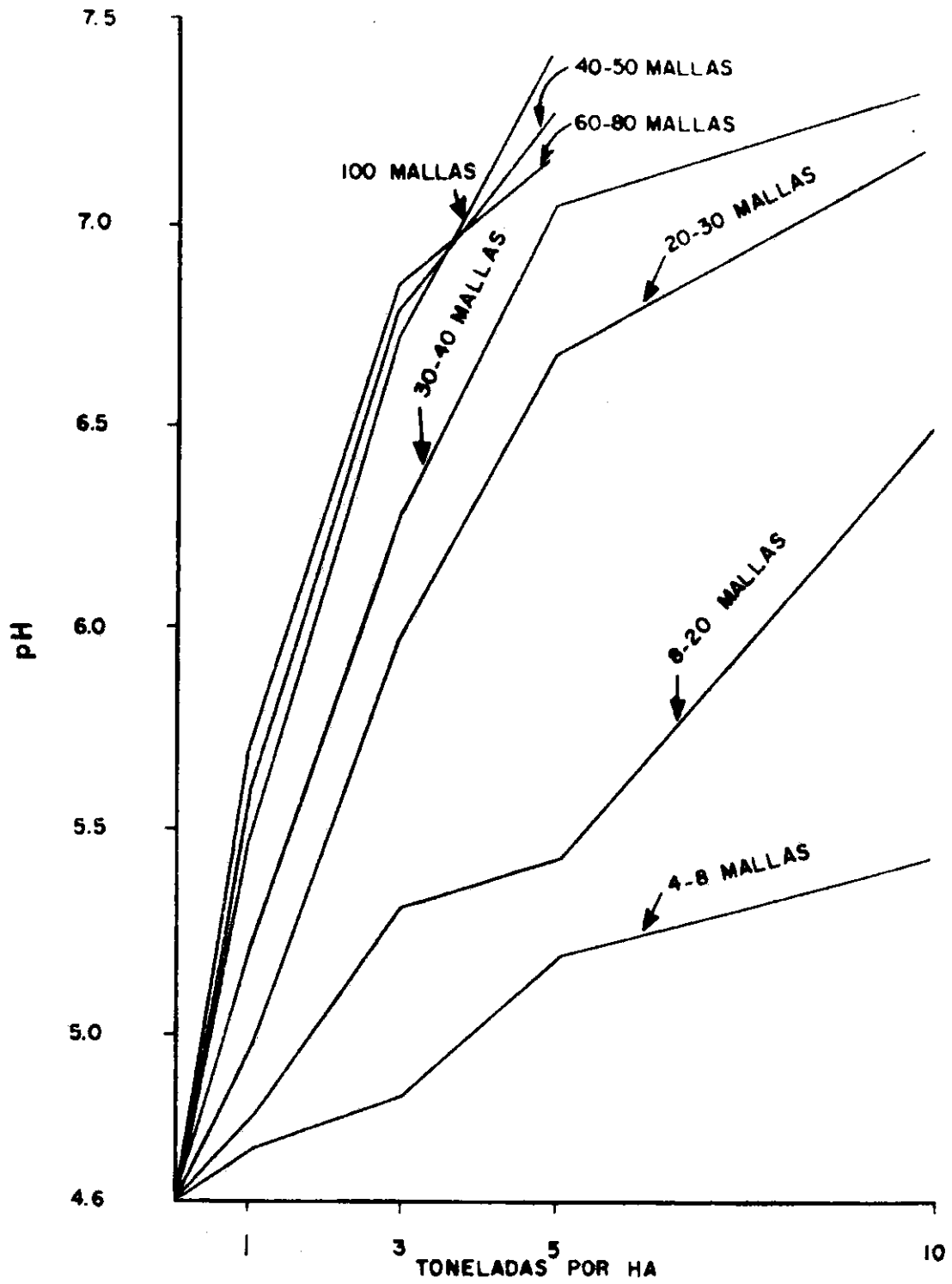


FIGURA 3. Efecto del tamaño de partículas en la velocidad de reacción de la cal en el suelo (Tisdale and Nelson, 1966).

15 de profundidad, mezclada con el suelo donde irá sembrada soya, con resultados halagadores. Un sistema sería el de volver a sembrar en las mismas bandas, cosecha tras cosecha, o también se podría aplicar cantidades mínimas de cal en cada siembra y siempre en bandas, para lograr encalado 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 (Spain, 1971).

Un sistema de aplicación localizada que ha resultado muy exitoso es el de revestir la semilla de leguminosas con cal. Con esto se logra proteger las bacterias fijadoras de nitrógeno (Rhizobium), las cuales requieren un pH más alto en el momento en que se inicia la formación de nódulas en la raíz de la leguminosa. Así ha sido posible logra excelentes resultados con cantidades mínimas de cal (hasta 1 Kg/Ha). En este caso no es la planta la que recibe el beneficio de la cal, sino la bacteria (Spain, 1971).

Otra manera muy práctica de aplicar la cal al suelo consiste en incorporarla con rastrillo. En la <sup>^</sup>Tabla 5 se presentan los rendimientos de forraje seco de alfalfa obtenidos según la manera de incorporar la cal. Comparando el sistema del arado con el del rastrillo, 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 rastrillo 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. Estos resultados indican la importancia que tiene la incorporación de la cal con rastrillo 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 (Marín, 1960). Sea cualquiera la forma como se distribuya la cal sobre el terreno, es aconsejable aplicarla al voleo y luego incorporarla con rastrillo.

TABLA 5. Efecto de los métodos de aplicar la cal en el rendimiento\* de la alfalfa en la serie Tibaitatá Franco arcillosa (Marín, 1960).

Método de incorporar la cal	Niveles de cal (t/Ha)				Promedio
	0	4	8	16	
Con arado	1.720	1.970	2.210	2.500	2.100
Mitad con arado y mitad con rastrillo	1.810	2.190	2.270	2.140	2.120
Con rastrillo	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.

## 2.7. 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 del Caquetá, Putumayo, Llanos Orientales y en general, donde el clima se caracteriza por lluvias intensas y frecuentes.

.2. El pH tiene mucha importancia en la aprovechabilidad de los nutrimentos 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 las leguminosas, hay muchas plantas tropicales que la toleran en diferentes grados. Por lo tanto, para evitar gastos excesivos en el encalado, 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 : la cal agrícola, la cal viva, la cal apagada y la cal dolomítica. La primera es la más utilizada en el país. Los materiales para encalar los suelos difieren marcadamente en su capacidad para neutralizar la acidez.

.5. La cal además de corregir la acidez del suelo proporciona los nutrimentos

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 Al intercambiable en los suelos. En general, en suelos con 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  $\text{CaCO}_3$  para cada miliequivalente de Al intercambiable presente en 100 gramos de suelo.

.7. La aplicación de 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 Al del suelo. En cualquier forma como se distribuya la cal sobre el terreno, es aconsejable incorporarla con rastrillo; así la cal queda mejor distribuída en el volumen del suelo que servirá de zona radical.

.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.

## 2.8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. BOLLAR, E. G. and BUTLER, G. E. Mineral nutrition of plants. In: Machlis, L. ed. Annual Review of Plant Physiology 17. 1966. pp. 77-112.
2. BROADBENT, F. E. and BRADFORD, G. R. Cation exchange grouping in the soil organic fraction. Soil Sci. 74:447-457. 1952.
3. BUCKMAN, H.O. and BRADY, N.C. The nature and properties of soils. New York, McMillan, 1960. 567 p.
4. COLEMAN, N.T. and CRAIG, D. The spontaneous alteration of hydrogen clay. Soil Sci. 91:14-18. 1961.
5. ———. and THOMAS, G.W. Salt exchangeable and titrable acidity in bentonite-sexquioxide mixtures. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28:35-37. 1964.
6. CORREA, J. Requerimientos de Cal de los suelos orgánicos de La Selva, Rionegro (Ant.). Agric. Trop. (Colombia) 15:27-31. 1969.
7. EVANS, H. J. and HALL, N. S. Asociation of molybdenum with nitrate reductaze. Science 122:922-923. 1955.
8. FOY, C. D. and BROWN, J.C. Toxic factors in acid soils. II Differential aluminum tolerance of plant species. Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 28:27-32. 1964.

9. FOY, C. D.; FLEMING, A. L. and ARMIYER, W. H. Aluminum tolerance of soybeans varieties in relation to calcium nutrition. *Agron. J.* 61:505-511. 1969.
10. HEWITT, E. J. Essential nutrient elements for plants. In: Steward, E.C. ed. *Plant physiology* New York Academic Press. 3:143-292. 1963.
11. KAMPRATH, E. J. Soil acidity and response to liming. Raleigh, U.S. Technical Bulletin No. 4. 1967. 17 p.
12. LEE, C. R. Influence of aluminum on plant growth and mineral nutrition on potatoes. *Agron. J.* 1972. 63:604-607.
13. LEON, A. Relaciones de calcio, magnesio y potasio en suelos de La Florida, Popayán. *Agric. Trop. (Colombia)* 24:335-345. 1968.
14. ———. Teorías modernas sobre la naturaleza de la acidez del suelo. *Suelos Ecuatoriales (Colombia)*. 3(1):1-23. 1971.
15. LORA, R. y RIVEROS, G. Problemas fisiológicos de plantas en suelos ácidos. *Suelos Ecuatoriales (Colombia)* 3:24-42. 1971.
16. MARIN, G. 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. 1960.

17. MARIN, G. Algunas sugerencias sobre el uso de fertilizantes y cal. *Agric. Trop. (Colombia)* 23:61-65. 1967.
18. ———. y LORA, R. Acidez y encalamiento de los suelos. Bogotá, Instituto Colombiano Agropecuario. 1974. Boletín didáctico No. 3. 25.
19. MEJIA F., L. Respuesta de seis variedades de tabaco negro (Nicotiana tabacum L.) a diferentes niveles de encalado. Bogotá, Instituto Colombiano Agropecuario. Programa Nacional de Suelos. 1975. 21 p. (mimeo.)
20. ———. Respuesta de algunas variedades de tabaco rubio (Nicotiana tabacum L.) a diferentes niveles de encalado en un suelo de los Llanos Orientales. Tesis de Mag. Sc. Bogotá, Programa de Estudios para Graduados U.N. ICA. 1975.
21. PARRA, J. El encalamiento de cinco cultivos en suelos derivados de cenizas volcánicas, zona cafetera. *Suelos Ecuatoriales (Colombia)* 3(1):170-189. 1971.
22. PAVER, H. and MARSHALL, C. E. The role of aluminum in the reaction of the clays. *J. Soc. Chem. Ind.* 53:750-760. 1934.
23. RANDALL, P. J. and VOSE, P. B. Effect of aluminum on uptake and translocation of phosphorus by perennial ryegrass. *Plant Physiology.* 38:403-409. 1963.

24. RIOS, M. A. and PERARSON, R. W. The effect of some chemical enviromental factors on cotton behavior. *Soil Sci. Soc. Amer. Prox.* 28:232-235. 1964.
25. RODRIGUEZ, M. y CORREA, J. Efecto de la aplicación de cal en el grado de acidez de tres suelos rojos de Antioquia. *Agric. Trop. (Colombia)* 22:47-54. 1966.
26. SOIL REACTION. In: *Soil Survey Manual U.S. Agriculture Handbook No. 18.* 1951. p. 235.
27. SPAIN, J. M. El problema de la acidez en suelos de los Llanos Orientales: posibles soluciones. *Suelos Ecuatoriales.* 3(1):206-209. 1971.
28. ———; FRANCIS, C.; HOWLER, R. H. y CALVO, F. Diferencias entre especies y variedades de cultivos y pastos tropical en su tolerancia a la acidez del suelo. In: Bormediza, E. y Alvarado, A. ed. *Manejo de suelos en la América Tropical.* Turrialba (Costa Rica), 1974. p. 315-335.
29. SPRAGUE, H. B. *Hunger signs in crops ; why do plants starve.* New York, McKay. 1964. 18 p.
30. TISDALE, S. L. and NELSON, W. L. *Soil fertility and fertilizers.* New York, McMillan, 1966. 694 p.
31. VEGA, V. y NAVAS, J. Encalamiento en suelos de clima frío. *Suelos Ecuatoriales, (Colombia)* 3(1):170-189. 1971.