

## 1. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS DE SUELOS

José E. Baquero Peñuela \*

Teniendo en cuenta que uno de los factores que más incide en la producción de cultivos es el eficiente manejo de la fertilización, es necesario considerar algunos aspectos que conlleven a este fin. El presente documento hace parte del Manual de Asistencia Técnica No. 25 del Instituto Colombiano Agropecuario titulado "FERTILIZACION DE DIVERSOS CULTIVOS" (quinta aproximación), el cual contiene los aspectos más importantes sobre el análisis de suelo, las instrucciones para la toma de muestras de suelo y la interpretación de estos resultados. Con el adecuado conocimiento y aplicación de las recomendaciones al respecto se puede llegar a tomar decisiones más acertadas sobre la fertilización de cultivos.

### 1.1 ANALISIS DE SUELOS

Son muchos los factores que afectan el rendimiento de los cultivos, entre los cuales ocupa un lugar importante la disponibilidad en el suelo de los nutrientes esenciales para las plantas. Cuando estos nutrientes no están en cantidades adecuadas hay necesidad de agregar fertilizantes químicos y/o enmiendas para suplir las necesidades de la planta, o corregir condiciones adversas en el suelo que inhiben su absorción; para esto se hace indispensable realizar el análisis de suelos con el fin de obtener la información sobre disponibilidad en el suelo de estos nutrientes.

El análisis de suelos puede suministrar información muy valiosa sobre la necesidad de usar fertilizantes y cal para aumentar el rendimiento de las cosechas. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que estos análisis y la fertilización no son una panacea. Hay, además, otros factores que afectan el crecimiento de las plantas y, por lo tanto, deben estudiarse si se quiere aumentar la producción.

#### 1.1.1 Instrucciones para tomar Muestras de Suelos

La toma adecuada de las muestras de suelo para su análisis, tiene tanta importancia como la exactitud de las determinaciones de laboratorio o el criterio de interpretación de los resultados. Por consiguiente, es necesario que las personas que realicen esta tarea se ajusten a las instrucciones que para tal efecto se aconsejan, con el objeto de obtener una información más exacta.

---

I.A., Investigador Asistente, Programa Regional Agrícola CORPOICA, C.I. La Libertad, A.A. 3129 Villavicencio, Meta.

### 1.1.1.1. Qué es una muestra representativa de suelo?

Una muestra de suelo es una mezcla de varias submuestras más pequeñas, obtenidas en distintas partes de un lote hasta cubrir toda el área del terreno.

La muestra de suelo debe pesar aproximadamente un kilogramo, cantidad que puede representar cinco o diez hectáreas de terreno que contienen por lo menos 20 millones de kg de suelo en la capa arable. La muestra de suelo debe incluir por lo menos 20 lugares diferentes del campo o área de 10 hectáreas o más, según la homogeneidad, en características visuales y de manejo, como se indica en la Figura 1. Una muestra que incluya muy pocos puntos del área puede dar información falsa sobre la fertilidad general del terreno, y las cantidades de cal y de fertilizantes que se recomiendan sobre esas bases pueden ser, por tal motivo erradas.

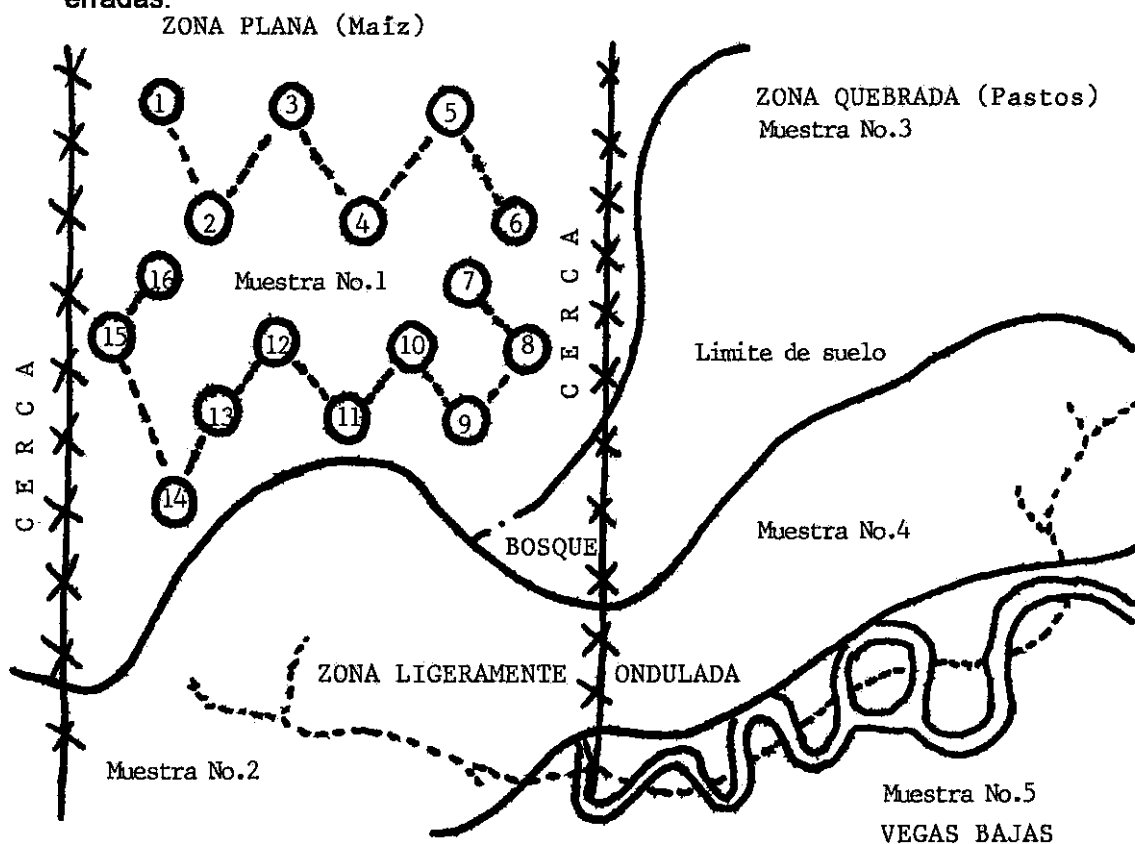


Figura 1. División de la finca en áreas y recolección de submuestras

### 1.1.1.2. Cuándo se deben tomar las muestras de suelo

Las muestras de suelo deben tomarse dos o tres meses antes de sembrar, en esta forma se obtendrá de esa práctica la información del análisis del suelo con tiempo suficiente para obtener los fertilizantes necesarios y hacer las aplicaciones de cal oportunamente. Es muy importante obtener las muestras dos o tres meses antes de la siembra en áreas que se van a dedicar a pastos, ya que si es necesaria la aplicación de cal, ésta se mezclará con el suelo al incorporarla con la rastrillada

para obtener mayores beneficios. En pastos ya establecidos, la mejor época para analizar el suelo y aplicar fertilizantes, es dos meses antes de comenzar el período de máximo crecimiento.

Las muestras de suelo para la mayoría de las cosechas deben recolectarse cada uno o dos años; para hortalizas o cosechas de alto valor, es necesario hacerlo con más frecuencia. Siempre son necesarias las muestras de suelos para análisis de fertilidad, antes de sembrar pastos y de hacer aplicaciones de cal.

El momento más oportuno para la obtención de las muestras es cuando el suelo tiene el grado de humedad apropiado para las labores agrícolas. Si hay necesidad de ellas cuando el suelo esté muy húmedo, se extiende sobre papel limpio, o sobre un plástico y se secan al aire a temperatura ambiente, antes de enviarlas al laboratorio. Debe evitarse el uso de calor artificial para acelerar el secamiento de las muestras.

### **1.1.1.3. Dónde se deben tomar las muestras de suelos?**

Cuando el predio presente cambios en apariencia y producción, como consecuencia de la variación de los tipos de suelo, de la conformación topográfica, de la cantidad de erosión, de la clase de drenaje, del tratamiento agrícola de los últimos años, es necesario dividir la finca en áreas que contemplen estas variaciones para coleccionar las muestras. Es conveniente evitar aquellas áreas muy pequeñas que difieren mucho del resto del campo, y que por su tamaño no tengan significación en la producción de cultivos. En aquellos casos en que por razones especiales interesa obtener una información analítica de estos sitios, es necesario obtener una muestra individual de esos lugares.

Cuando se extraigan muestras de suelo en lotes con cosechas cultivadas en surcos, deben provenir de éstos o de los caballones y no de la banda del fertilizante ni de áreas de antiguos canales, carreteras o caminos. Tampoco de sitios donde existan residuos de paja o de quemas.

Hay que evitar, igualmente, recogerlas en el límite de los cambios de pendientes entre tierras planas y quebradas o en la orilla de las cercas inmediatas a los árboles, en parches pantanosos en cualquier otra área de uso poco común no representativa.

Si el predio es uniforme en apariencia y producción, así como el manejo a que se ha sometido durante los últimos años, se puede considerar como una unidad para la extracción de la muestra. En estas circunstancias, las áreas no deben sobrepasar una superficie de 10 hectáreas. Cuando el área sea mayor, deberá dividirse en unidades de este tamaño.

#### **1.1.1.4. Profundidad a la cual se debe tomar la muestra.**

La muestra se debe recolectar a una profundidad de 0 a 20 centímetros cuando se trata de suelos cultivados o que se pretenden cultivar, y si se trata de suelos con pastos o de áreas en las cuales se quiere sembrar pastos, es necesario que la profundidad sea de 0 a 10 centímetros. La cal y los fertilizantes que se aplican al voleo sobre el terreno penetran muy lentamente en el suelo.

Cuando las muestras provienen de suelos a otras profundidades diferentes a las mencionadas, estas deben anotarse en la hoja de información, ya que la profundidad es una consideración muy importante que el especialista debe tener en cuenta al hacer las recomendaciones de fertilizantes y cal.

También se toman muestras de 20 a 40 cm en terrenos dedicados a fruticultura y para cultivar algodón, ya que en estos casos los resultados analíticos pueden proporcionar datos de mucho interés.

#### **1.1.1.5. Cómo tomar una muestra de suelo?**

La forma de tomar las muestras varía de acuerdo con el objeto del análisis, según se trate de muestras para análisis de fertilidad con el fin de proporcionar bases para la aplicación de fertilizantes, o para caracterizar perfiles de suelos con fines edafológicos.

En esta oportunidad se hace referencia únicamente al primer caso, o sea a la muestra de suelo para análisis de fertilidad con el fin de asesorar a los agricultores sobre la aplicación de fertilizantes.

Lo primero que debe hacerse es obtener los siguientes materiales y herramientas para obtener las muestras: Un balde limpio, un sacabocado, barreno, pala o garlancha, cajas de cartón, bolsa de plástico y las hojas de información que suministran los técnicos agrícolas.

Cuando la herramienta usada es una pala o garlancha se procede como se observa en la Figura 2 se raspa aproximadamente un centímetro de la superficie del suelo para eliminar los residuos frescos de materia orgánica, polvo de la carretera u otras contaminaciones artificiales. Se cava un hueco en forma de V, cuyo tamaño aproximado sea el ancho de la pala y tenga una profundidad de 20 centímetros. Luego se corta una tajada de suelo de 2-3 centímetros de grueso en la pared del hueco y se toman una faja de unos 3 a 5 centímetros de ancho en el centro de la tajada. Se coloca esta faja de suelo en el balde y se repite la operación en 15 o 20 lugares del área delimitada para la extracción de la muestra completa.

Cuando se usan barrenos o sacabocados, al final de las 15 o 20 perforaciones ya se ha obtenido la tierra necesaria para formar un volumen alrededor de 1 kg de peso. En cambio, cuando se saca la muestra con la pala, la tierra recogida

constituye una cantidad demasiado grande para la muestra. Una combinación de varias submuestras pequeñas, cada una seleccionada de una parte homogénea del total, da información más precisa que una simple muestra más grande.

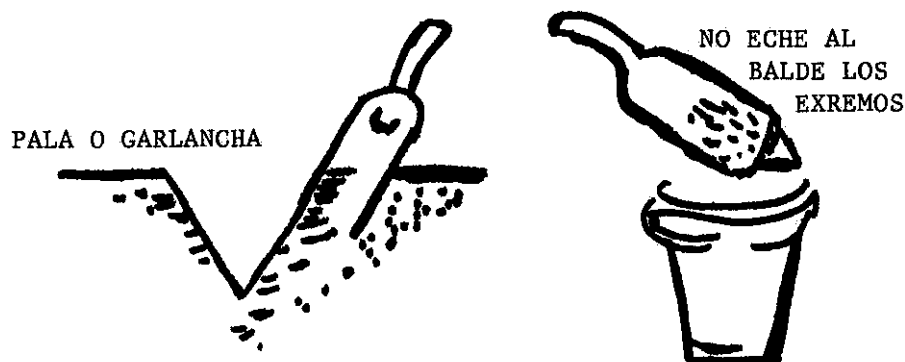


Figura 2. Forma de tomar las muestras de suelos

Las muestras no deben empacarse en bolsas que hayan sido usadas con fertilizantes o sustancias químicas. No se debe fumar o dejar caer cenizas de cigarrillo al manipular las muestras, las cuales se identifican enumerándolas y escribiéndoles el nombre y la dirección correspondientes.

#### 1.1.1.6. Cómo llenar las hojas de información sobre las muestras de suelos?

Es importante llenar lo más exactamente posible la hoja de información sobre las muestras de suelos porque esto ayudará especialmente a la formulación de las recomendaciones que cada agricultor necesita. Si las muestras corresponden a varias fincas, no deben usarse los mismos números para identificarlas.

Los datos que deben suministrar por cada muestra son los siguientes: nombre y dirección completa del solicitante, nombre y ubicación de la finca (corregimiento, municipio, etc.), tipo de análisis solicitado, profundidad de la toma de aquellas, superficie que representa y un cultivo para el cual se requiere recomendación.

Hay que señalar, también, lo que se detalla enseguida: si el drenaje interno es: bueno, regular o malo; si se ha agregado cal en los últimos años en el suelo; si se va a aplicar riego y cuáles son los cultivos sembrados en los últimos dos años; qué tipos de fertilizantes se han utilizado y a razón de cuántos kilogramos por hectárea,

mencionando el rendimiento de los sembrados, con o sin fertilizantes, y añadiendo observaciones y cualquier otro dato que el técnico considere pertinente y útil.

Es importante conservar una copia de la información que acompaña a la muestra y del análisis de los suelos, junto con el registro de los rendimientos de la cosecha y las aplicaciones de cal y fertilizantes. Es conveniente tener un mapa de la finca, en el cual se indiquen los lotes y las áreas en donde se han tomado las muestras de suelos, numeradas claramente, para conservar los registros del análisis de suelos.

## 1.2. METODOS DE ANALISIS DE SUELOS

En el laboratorio se efectúan los análisis siguiendo los métodos descritos a continuación.

- **Determinación del pH:** El pH se determina por el método del potenciómetro con electrodo de vidrio en la relación suelo-agua por volumen de 1:1. A 10 cm<sup>3</sup> de suelo, agregar 10 cm<sup>3</sup> de agua destilada. La mezcla se deja en reposo durante una hora, se agita y luego se lee el pH en el potenciómetro.
- **Determinación de la acidez intercambiable (AI + H):** Se determina mediante la extracción con KCl normal titulando el extracto con 0.1 N NaOH, en presencia de fenolftaleína. La acidez intercambiable se expresa en miliequivalente por 100 Ogramos de suelo (meq/100 g de suelo).
- **Cálculo de la materia orgánica:** La materia orgánica del suelo se calcula indirectamente determinando el carbono orgánico; este se oxida con ácido crómico en presencia de un exceso de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado (método de Walkley Black), para posterior determinación colorimétrica.
- **Determinación del fósforo:** Para determinar el fósforo (P) en el suelo se utiliza el método de Bray II. La extracción se efectúa con una mezcla de 0.03 N NH<sub>4</sub>F y de 0.1 NHCl. El fósforo del suelo se expresa en partes por millón de P (ppm de P).
- **Determinación de bases intercambiables: Ca<sup>++</sup>; Mg<sup>++</sup>; K<sup>+</sup>; Na<sup>+</sup>.** La extracción se hace con acetato de amonio normal y neutro, y la posterior determinación se logra por medio de la espectrofotometría.
- **Determinación de la capacidad de intercambio catiónico: C.I.C.** Al desplazar los cationes del suelo con acetato de amonio, se lava el exceso de amonio con alcohol. El amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) retenido se desplaza con una solución del NaCl al 10%. Al lixiviado se le agregan 10 cm<sup>3</sup> de formaldehído neutro al 40%. Luego se titula con 0.1 N NaOH, utilizando fenolftaleína como indicador. La C.I.C. se expresa en meq/100 g de suelo. La C.I.C. también se puede calcular indirectamente, por suma de cationes Ca<sup>++</sup>; Mg<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>; Na<sup>++</sup>; Al<sup>+++</sup>; H<sup>+</sup> intercambiables, lo cual da la C.I.C. efectiva.

- **Análisis físico-mecánico:** El análisis físico-mecánico o de textura se hace por el método de Bouyoucous o del hidrómetro. Como agente dispersante se utiliza en una solución de hexametofosfato y carbonato de sodio. Para agricultores se determina la textura al tacto.
- **Determinación de la salinidad:** Se determina la conductividad eléctrica (C.E.) y la clase de aniones:  $\text{NO}_3$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{HCO}_3$  y cationes:  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  en el extracto de suelo saturado. También se determina el pH del suelo saturado y el contenido de  $\text{Na}^+$  intercambiable en el suelo expresado en porcentaje. La conductividad del extracto se expresa en milimhos/cm.

### 1.3. UNIDADES EMPLEADAS EN EL ANALISIS DE SUELOS

Las unidades comúnmente empleadas en el análisis de suelo son: a) porcentaje (%); b) miliequivalente por 100 gramos de suelo (Meq/100g); c) partes por millón (ppm). Es de anotar que se acepta que una hectárea de suelo, capa arable, pesa 2.000.000 de kilogramos o en su defecto, que tiene un volumen de 2.000.000 de litros, cuando el suelo posee una densidad aparente de  $1 \text{ g/cm}^3$ .

A continuación se explican las unidades empleadas en el análisis de suelos:

- **Partes por millón (ppm),** se llama ppm a las unidades en un millón de unidades. Ejemplo: kilogramos en un millón de kilogramos; gramos en un millón de gramos; litro en un millón de litros. Si un suelo tiene 10 ppm de P, ese suelo tendrá 20 kg/ha de P, o lo que es lo mismo: 45,8 kg/ha de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . 1 ppm de P es igual a 4,58 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5$ /ha.
- **Miliequivalente:** el equivalente químico de un elemento es su peso atómico dividido por su valencia. Si se expresa en gramos se le denomina equivalente gramo.

#### Ejemplo:

a. Peso atómico de calcio (Ca)	40
Valencia	2
Equivalente gramo $40:2 =$	20 g
b. Peso atómico magnesio (Mg)	24
Valencia	2
Equivalente gramos $24:2 =$	12 g
c. Peso atómico del potasio (K)	39
Valencia	1
Equivalente gramos $39:1 =$	39 g

Se denomina miliequivalente (meq) al equivalente dividido por 1000.

Ejemplo:

- a) Miliequivalente gramo del Mg =  $12/1.000 = 0.012$  g
- b) Miliequivalente gramo del K =  $39/1.000 = 0.039$  g
- c) Miliequivalente gramo del Ca =  $20/1.000 = 0.020$  g

- Conversión de miliequivalente a kilogramos por hectáreas: La hectárea de suelo, capa arable, peso en promedio 2.000.000 de kg. supongamos que en un análisis de suelo dio 1 meq de calcio por 100 gramos de suelos. Esto equivale a 0,02 g en 100 gramos de suelo, o sea, a 0,0002 kg por kg de suelo. Por tanto, en 2.000.000 de kg, es decir, en una hectárea habrá 400 kg de Ca.

Aplicando los mismos racionamientos se tiene:

1 meq de Ca/100 g de suelo =	400 kg de Ca/ha
1 meq de Mg/100 g de suelo =	240 kg de Mg/ha
1 meq de K /100 g de suelo =	780 kg de K/ha
1 meq de Na/100 g de suelo =	460 kg de Na/ha

#### 1.4. LA CALIBRACION DEL ANALISIS DEL SUELO

Desde el punto de vista físico o químico una técnica de análisis con fines agrícolas puede ser buena pero si no existe correlación con la respuesta obtenida por la planta bajo condiciones de campo o de invernadero, dicha técnica o procedimiento no tendrá ningún valor. Por esto, es necesario calibrar el método, o sea, fijar los valores límites para calificar el suelo como bajo, medio o alto en determinado elemento de acuerdo con los resultados analíticos obtenidos por el método bajo estudio.

La calibración que se obtiene después de comparar estadísticamente los resultados del análisis de un adecuado número de suelos, con los resultados obtenidos en el campo o invernadero (rendimiento y otra variable), al aplicarles el nutrimento bajo estudio. La calibración de un método para establecer los límites estimativos de bajo, medio y alto, sólo puede hacerse con base en la probabilidad de que el suelo sea realmente pobre, medio o rico en el elemento que se estudia. Cuando el suelo se considera pobre, la probabilidad de que responda, es decir, de que aumente significativamente el rendimiento al aplicar dicho nutrimento debe ser alta; cuando es rico la probabilidad debe ser baja. Agrupados y comparados los resultados de los análisis de los suelos estudiados con la respuesta de la planta a la aplicación del elemento se establecen los límites de los valores para que se cumplan los requisitos establecidos en la Tabla 1.

**Tabla 1. Probabilidad de respuesta de los cultivos a la fertilización, según el contenido del nutrimento en el suelo.**

CONTENIDO DEL NUTRIMENTO EN EL SUELO	PROBABILIDAD DE RESPUESTA A LA FERTILIZACION
Bajo (B)	Igual o mayor de 80% (Alta)
Medio (M)	Alrededor de 50% (Media)
Alto (A)	Igual o menor de 20% (Baja)

## 1.5. LA INTERPRETACION DEL ANALISIS DE SUELO

Posiblemente la interpretación es la etapa más importante y difícil en un análisis de suelos. No se trata solamente de conocer los niveles críticos, sino de poder tener un concepto global del análisis, considerar la interdependencia entre elementos y propiedades del suelo, medir el efecto de condiciones de clima y, en fin, de conocer el cultivo para el cual se va a utilizar el análisis. Indudablemente, esto es difícil, pero habrá una mayor confiabilidad mientras más y mejor se consideren los factores expuestos. Hacer un análisis es fácil, interpretarlo y utilizarlo correctamente presenta dificultades.

Enseguida se presentan algunos elementos relacionados con la interpretación de resultados de análisis de suelos.

### 1.5.1. El pH "La reacción del suelo" y sus efectos

- ⇒ Menor de 5,5: fuerte a extremadamente ácido. Posible toxicidad del aluminio y del manganeso. Posibles deficiencias de P, Ca, Mg y Mo. Es necesario encalar para la mayoría de los cultivos.
- ⇒ De 5,5 a 5,9: moderadamente ácido, baja solubilidad del P y regular disponibilidad de Ca y Mg. Algunos cultivos, como las leguminosas, requieren encalamiento.
- ⇒ De 6,0 a 6,5: ligeramente ácido: condición adecuada para el crecimiento de la mayoría de los cultivos.
- ⇒ Menor de 6,6 a 7,3: casi neutro o neutro: buena disponibilidad de Ca y Mg; moderada disponibilidad de P y baja disponibilidad de micronutrientos a excepción del Mo.
- ⇒ De 7,4 a 8,0 Alcalino: posible exceso de carbonatos. Baja solubilidad del P y de micronutrientos a excepción del Mo. Se inhibe el crecimiento de varios cultivos. Es necesario tratar el suelo con enmiendas.

### 1.5.2. La acidez intercambiable

La acidez intercambiable en la mayoría de los suelos está constituida por el Al y el H intercambiables. En los suelos minerales predomina el Al. Generalmente, a valores de pH por debajo de 5,5 en suelos minerales y por debajo de 5,0 en suelos orgánicos, existen problemas con el aluminio.

Criterios muy generales para considerar el Al como problema en los suelos:

- a. Si el análisis indica valores superiores a 2 meq de Al intercambiable.
- b. Si la relación,

$$\frac{Ca + Mg + K}{Al} \leq 1$$

### 1.5.3. La materia orgánica

A medida que disminuye la temperatura, el contenido de materia orgánica aumenta debido a la baja tasa de mineralización de ésta. En Colombia, por existir relación inversa entre altitud y temperatura se ha encontrado correlación positiva entre el contenido de materia orgánica y la altura sobre el nivel del mar. En términos generales, la materia orgánica dividida por 20 es igual al porcentaje de N.

En la Tabla 2 se observa el estimativo conceptual de la materia orgánica en los suelos.

Tabla 2. Estimativo de materia orgánica en los suelos

CLIMA	INTERPRETACION DEL % DE MATERIA ORGANICA		
	BAJO	MEDIO	ALTO
Frío	Menor de 5	5.10	Mayor de 10
Templado	Menor de 3	3.5	Mayor de 5
Cálido	Menor de 2	2.3	Mayor de 3

La materia orgánica es fuente principalmente de N, P, S y de algunos elementos menores. Además, mejora las propiedades físicas, aumenta la capacidad amortiguadora (Buffer) y tiene gran influencia en la capacidad de intercambio catiónico. Cada 1% de materia orgánica representa en general, 2 meq/100 g en la medida de la C.I.C.

#### 1.5.4. El fósforo (P) aprovechable

Existen varios métodos para la extracción de P. Algunos de los trabajos efectuados en Colombia han mostrado correlación con los métodos Bray II, Bray I y Truog. El capítulo sobre recomendaciones de fertilizantes indica los niveles críticos de P en el suelo para cada cultivo

#### 1.5.5. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Esta propiedad de los suelos está asociada directamente con la textura, el tipo de arcilla y el contenido de materia orgánica en ellos.

En Colombia la CIC de los suelos es muy variable, aún dentro de una misma región. Es deseable que todo suelo presente una CIC alta, asociada con elevada saturación de bases, ya que esta situación indica una gran capacidad potencial para suministrar Ca, M y K a las plantas. En términos generales, un estimativo conceptual de la CIC en los suelos es el siguiente:

menor que 10 meq/100 g:	10 - 20	Baja
meq/100 g:		Media
mayor que 20 meq/100 g:		Alta

#### 1.5.6 Bases intercambiables: Ca, Mg, K, Na

En general es difícil establecer niveles críticos para estos nutrimentos. En la mayoría de los casos se debe considerar no solamente el elemento intercambiable, sino también el porcentaje de saturación del complejo de cambio y el pH del suelo.

La relación Ca/Mg debe tenerse en cuenta, especialmente en suelos ácidos que requieren encalamiento. El valor mínimo para la relación debe ser uno. Cuando la relación Ca/Mg es amplia, más de 4 y el suelo necesite encalamiento, se recomienda aplicar 1.250 kg/ha de cal dolomítica por cada miliequivalente de aluminio.

En la Tabla 3 se observa el estimativo conceptual de las bases en los suelos y el porcentaje de saturación de las mismas.

**Tabla 3. Estimativo conceptual de las bases en el suelo**

ELEMENTO		INTERPRETACION		
		BAJO	MEDIO	ALTO
Calcio	meq/100 g	< 3	3 - 6	> 6
	Saturación %	< 30	30 - 50	> 50
Magnesio	meq/100 g	< 1.5	1.5 - 2.5	> 2.5
	Saturación %	< 15	15 - 25	> 25
Potasio	meq/100 g	< 0.20	0.20 - 0.40	> 0.40
	Saturación %	< 2	2 - 3	> 3
Sodio	meq/100 g	Su contenido debe ser menor de 1 Debe ser menor de 15%		
	Saturación %			
Relación normal	Ca : Mg : K	3 : 1 : 0.25		

En general, por encima de 4 milimhos/cm se restringe el rendimiento de muchos cultivos y se debe recuperar el suelo.

#### 1.5.7. Conductividad eléctrica (C.E.)

La conductividad eléctrica es un índice de la salinidad, es así como el porcentaje de saturación de sodio lo es de la sodicidad del suelo. En la Tabla 4 se hace una evaluación de la salinidad.

**Tabla 4. Interpretación de la C.E. del extracto del suelo (Milimhos/cm).**

0 - 2	3 - 4	4 - 8	3 - 16	16
No salino	Muy ligeramente salino	Moderadamente salino	Fuertemente salino	Muy fuertemente salino

Por otra parte, cuando la saturación de sodio es superior al 15% y el pH es superior a 8,0 existen problemas serios en el suelo, principalmente desde el punto de vista físico. En estos casos se necesita someter el suelo a un tratamiento a base de enmiendas sulfatadas y de lavado para recuperarlo.

## 1.6 RECOMENDACIONES DE CAL

La cal se aplica a los suelos para neutralizar hidrógeno  $H^+$  y el aluminio intercambiable ( $Al^{+++}$ ) y para proporcionar calcio. Se aplica calcio más magnesio si ella es calcítica o dolomítica respectivamente.

Los principales factores que se deben tener presentes al agregar la cal a los suelos, además de la planta que se va a cultivar, son el pH y el aluminio intercambiable, la textura, el contenido de materia orgánica y la relación Ca/Mg.

La importancia del pH está relacionada con la tolerancia de las plantas al manganeso y al aluminio contenidos en la solución del suelo. Las leguminosas de grano requieren un pH aproximadamente de 6.5; la papa y la cebada crecen bien en suelos cercanos a un pH de 5.0. Las correcciones adecuadas de pH, mediante aplicaciones de cal, permiten que algunos nutrimentos pasen a ser aprovechables por los cultivos, disminuyéndose así la cantidad de fertilizantes y su costo.

El tipo de suelo y el contenido de materia orgánica también influyen en la cantidad de cal que se debe agregar. Los suelos con alto contenido de materia orgánica y/o arcilla, requieren, para elevar el pH en una unidad, más cal que los arenosos.

Las rotaciones también deben tenerse en cuenta al hacer recomendaciones de cal. Por ejemplo, cuando la papa está incluida en una rotación con cosechas que requieren un pH más alto, debe aplicarse cal, pero no sobrepasar un pH de 5,5 ya que esta planta puede ser afectada por ciertas enfermedades que aparecen cuando el pH está por encima de este valor.

Como la cal reacciona lentamente en el suelo, debe aplicarse de cuatro a seis semanas antes de la siembra. Sin embargo, los pastos y en general las plantas forrajeras crecen bien cuando la cal se aplica un poco antes de la siembra, pero mezclada uniformemente con el suelo.

Las recomendaciones de cal, se basan especialmente en el contenido de aluminio intercambiable de los suelos. En suelos con menos de 10% de materia orgánica y un pH inferior a 5,5 y en suelos con más de 10% de materia orgánica y pH inferior a 5,0 se recomienda aplicar una tonelada y media de cal agrícola, que contenga por lo menos el equivalente al 80% de  $CaCO_3$ , por cada miliequivalente (meq) de aluminio intercambiable. Cuando se utilizan Escorias Thomas, es posible disminuir la cantidad de cal en suelos con un pH menor de 5,5.

En algunos suelos de Colombia el contenido de aluminio intercambiable es muy alto y, por tanto, la cantidad de cal para su corrección sería exagerada. Es muy importante que el técnico analice con el agricultor el aspecto económico en el uso de la cal. Aplicaciones superiores y aún menores de tres toneladas por hectárea pueden resultar antieconómicas. Se puede pensar también en aplicar la cal por ciclo agrícola hasta llegar a las condiciones adecuadas de acidez de los suelos.

En muchos suelos del país que requieren cal, se encuentra una relación Ca/Mg muy amplia, es decir, que la cantidad de magnesio en relación con la del calcio es muy pequeña. Al agregar a los suelos cal agrícola o sea aquella que contiene solamente  $\text{CaCO}_3$ , se agrava el desequilibrio entre el calcio y magnesio y se pueden inducir deficiencias de este en los cultivos.

Por esta razón es muy importante que las aplicaciones de cal se hagan con base en cal dolomítica o sea de aquella que contiene además de carbonato de calcio, carbonato de magnesio.

## 1.7 TOLERANCIA DE VARIOS CULTIVOS A LA ACIDEZ DEL SUELO

En la Tabla 5 se indican los límites aproximados de tolerancia de pH para algunos cultivos.

Tabla 5. Límite de tolerancia de pH para algunos cultivos

pH 4,8 - 5,5	pH 5,6 - 6,4	pH 6,5 - 7,3
Piña ( <i>Anana comosus</i> )	Maíz ( <i>Zea mays</i> )	Alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> )
Papa ( <i>Solanum tuberosum</i> )	Frijol ( <i>Phaseolus spp</i> )	Trébol ( <i>Trifolium spp</i> )
Yuca ( <i>Manihot esculenta</i> )	Trigo ( <i>Triticum aestivum</i> )	Algodonero ( <i>Gossipium spp</i> )
Pasto gordura ( <i>Melinis minutiflora</i> )	Arroz ( <i>Oryza sativa</i> )	Coliflor ( <i>Brassica oleracea</i> )
Pasto puntero ( <i>Hyparrhenia rufa</i> )	Tomate ( <i>Lycopersicum</i>	Caña de azúcar ( <i>Saccharum</i>
Pasto braquiaria ( <i>Bracharia decumbens</i> )	<i>esculentum</i> )	<i>officinarum</i> )

Un caso muy especial es el de arroz que tolera suelos bastante ácidos aún cuando se siembra en 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 6,0 después de dos a tres semanas de inundación. En este caso, la especie no es necesariamente resistente a la acidez. Parece que el arroz de secano responde a moderadas aplicaciones de cal en suelos muy ácidos del Piedemonte Llanero, mientras que en riego, en los mismos suelos, no responde tanto a esa aplicación.

A veces, cuando se modifica la reacción del suelo, es preciso hacerlo en tal forma que si bien no se consigue el mejor desarrollo del cultivo, se logra en cambio evitar la presencia de ciertas enfermedades. Por ejemplo la "Costra" o "Sarna" de las papas que es causada por la bacteria *Streptomyces scabies* encuentra su medio más apropiado en los suelos alcalinos, pues 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 o más, pero cuando el pH es inferior a 5,6 la enfermedad rara vez se presenta.

## **1.8 MATERIALES UTILIZADOS PARA NEUTRALIZAR LA ACIDEZ DEL SUELO**

Para neutralizar la acidez del suelo, es decir, para aumentar el pH, se pueden utilizar la cal o las Escorias Thomas. Existen cuatro clases de cal: agrícola, viva, apagada y dolomítica.

### **1.8.1. Cal agrícola**

Es el producto formado especialmente por carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) en cantidad del 70% como mínimo. En forma natural se encuentra como piedra caliza o piedra de cal.

### **1.8.2. 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 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 puede permanecer en el suelo por largo tiempo. Su aplicación se recomienda solamente cuando se puede asegurar una mezcla en el terreno, pues existe el peligro de "quemar" la semilla.

### **1.8.3. Cal apagada**

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

### **1.8.4. Cal dolomítica**

Es una mezcla de carbonato de calcio y magnesio. Generalmente contiene 40% de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y 8 a 10% de carbonato de magnesio ( $\text{MgCO}_3$ ). Esta cal tiene mucha importancia en suelos ácidos deficientes en Mg.

### **1.8.5. Escorias Thomas**

Las Escorias Thomas son un subproducto de la industria del acero. En Colombia, son producidas por Acerías Paz del Río. Poseen un contenido relativamente alto en fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), aproximadamente 10% y mediano de  $\text{CaCO}_3$ . Se aplica a los suelos, más por su contenido de fósforo que como material de enclavamiento, pero

por su poder de neutralización son adecuadas para suelos ácidos deficientes en P como los de los Llanos Orientales. Las Escorias Thomas son también fuente de Mg.

### 1.8.6. Valor de neutralización de los distintos materiales

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 6 muestra el valor de neutralización de algunos materiales utilizados para encalar suelos, teniendo como base el contenido de carbonato de calcio puro ( $\text{CaCO}_3$ ) con un poder neutralizante del 100%.

Tabla 6. Equivalente  $\text{CaCO}_3$  de varios materiales de encalamiento

NOMBRE COMUN	FORMULA QUIMICA	EQUIVALENTE $\text{CaCO}_3$
Carbonato de calcio puro	$\text{CaCO}_3$	100
Caliza-cal agrícola	$\text{CaCO}_3$	70 - 95
Cal viva	$\text{CaO}$	150
Cal apagada	$\text{Ca(OH)}_2$	120
Cal dolomítica	$\text{CaCO}_3 \text{ MgCO}_3$	110
Escorias Thomas	-	60 - 70
Escorias de alto horno	-	75 - 90

### 1.9 LA RELACION Ca/Mg

Uno de los problemas más comunes en los suelos colombianos es el de la relación Ca/Mg en el complejo coloidal de los suelos. En suelos donde la relación Ca/Mg se halla en estado natural amplio, se han constatado deficiencias de Mg; por otra parte, en suelos del Valle del río Cauca, en donde la relación es estrecha o menor que la unidad, se ha encontrado baja producción en cultivos como el arroz, la caña de azúcar y pastos.

No obstante que se reconocen muchos efectos benéficos del encalamiento en suelos extremadamente ácidos, como el de neutralizar los efectos tóxicos del Al y del Mn, y aumentar la aprovechabilidad de otros nutrimentos, también puede causar disturbios en la fertilidad del suelo, como por ejemplo, el desbalanceamiento de la relación Ca/Mg, provocando, en muchos casos, una deficiencia de Mg en las plantas: es una costumbre muy difundida aplicar cal a los suelos extremadamente ácidos de las regiones húmedas, sin efectuar ensayos previos para probar la bondad de esta práctica.

## **1.10. RECOMENDACIONES DE NITROGENO, FOSFORO Y POTASIO**

### **1.10.1. FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DE LA FERTILIZACION**

Los fertilizantes son tal vez el arma más eficiente y rápida para la obtención de una mayor productividad de las áreas agrícolas del país. Existen, sin embargo, una serie de factores que afectan la eficiencia de los fertilizantes, los cuales desafortunadamente no se pueden detectar con un análisis de suelos. Estos factores son entre otras calidad de semilla, preparación de terreno, control fitosanitario, control de malezas, etc.

Por lo anterior es necesario entender que el análisis de suelos y su correcta interpretación no es suficiente para obtener óptimas y eficientes producciones, ya que existen otras labores extremas que inciden directa e indirectamente sobre la marcha del cultivo que son necesarios tener en cuenta.