

# CONSIDERACIONES PARA UNIFORMAR LOS RESULTADOS DE UN ANALISIS QUIMICO DE SUELO



*Alexis Miranda Arauz*

IICA  
P33  
M672

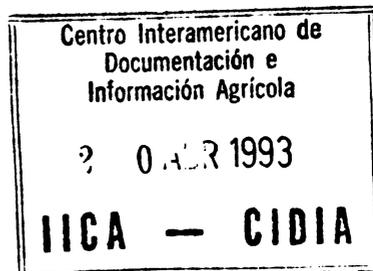


**IICA**

INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA

PROMECAFE





✓  
**CONSIDERACIONES PARA UNIFORMAR  
LOS RESULTADOS DE UN ANALISIS  
QUIMICO DE SUELO**

✓  
*Alexis Miranda Arauz*  
*Ing. Agr., M. Sc.*

San José, Costa Rica  
Noviembre 1989.

00007554

110A

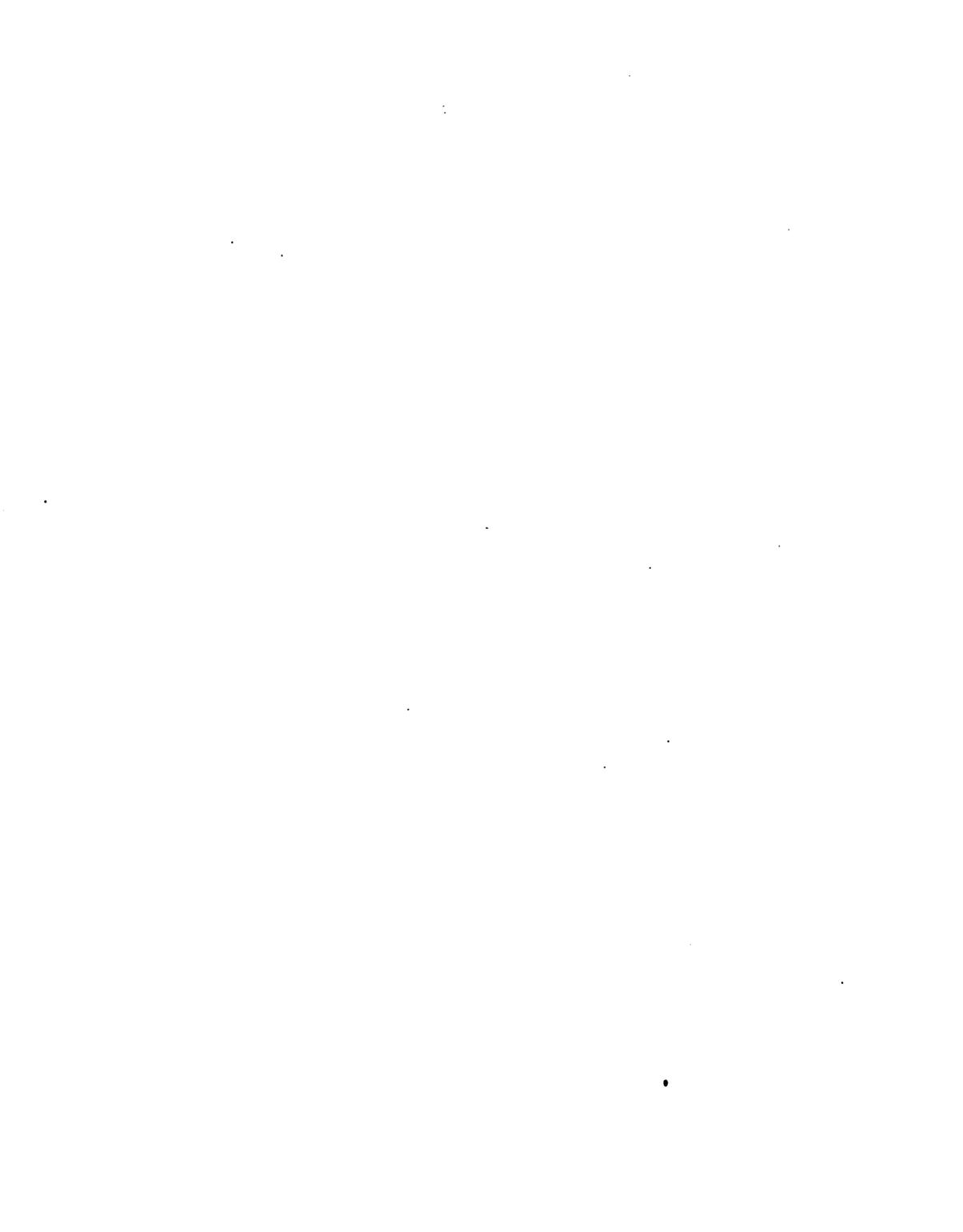
P33

M672

~~136-00049~~

## CONTENIDO

	<b>Página</b>
1.- Introducción.....	1
2.- El Análisis de Suelo.....	3
3.- Algunas Consideraciones sobre Unidades de Medida .....	8
3.1 Medidas de Volumen.....	8
3.2 Medidas de Peso.....	9
3.3 Medidas de Superficie.....	9
4.- Partes por Millón.....	10
5.- Unidades de medidas utilizadas en el análisis de suelo.....	10
5.1 Unidad de medida a base de porcentaje.....	11
5.2 Unidad de medida a base de miliequivalente por cien Mililitros de Suelo.....	11
5.3 Microgramo por Mililitro de Suelo.....	14
6.- Algunas consideraciones sobre Resultados Analíticos y las Soluciones Extractoras.....	14
7.- Cálculos para Expresar el Contenido de Elementos en Kilogramos por Hectárea (kg/ha).....	15
8.- Bibliografía.....	20
9.- Anexos	
Anexo #1 Peso atómico de elementos químicos relacionados con la agricultura.....	21
Anexo #2 Tabla de constantes y conversiones de uso frecuente en agricultura.....	22
Anexo #3 Algunos conceptos relacionados con la fertilidad del suelo.....	23
Anexo #4 Condiciones físico químicas de suelos aptos para café.....	29
Anexo #5 Algunas equivalencias de expresiones cuantitativas relacionadas con suelos.....	30
Anexo #6 Interpretación gráfica de un análisis de suelo para café.....	31
Anexo #7 Antagonismo entre potasio y magnesio.....	32
Anexo #8 Equilibrio entre metalés alcalinos y alcalinoté- leros.....	33



## **RECONOCIMIENTO**

El autor patentiza su reconocimiento a los siguientes profesionales e Instituciones que participaron directamente en la preparación y publicación de este boletín:

Al Dr. Alvaro Cordero, Ex-asesor en Suelos del Acuerdo Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Panamá - Universidad de Rutgers, por su gentileza de revisar el manuscrito del boletín y hacernos los comentarios pertinentes.

A los M. Sc. Benjamín Name y Santander Jaramillo, del IDIAP, por su comentarios y atinadas recomendaciones.

Al Dr. Elemer Bornemisza, Consultor en Suelos del PROMECAFE, por la revisión final del manuscrito del boletín y sus valiosos comentarios.

Al personal técnico del Laboratorio de Suelos del IDIAP en Divisa por su gentil cooperación.

A la Sra. Glenda G. de Solanilla por su paciente trabajo de secretariado.

Y finalmente al PROGRAMA COOPERATIVO REGIONAL para la Protección y MODERNIZACION DE LA CAFICULTURA DE MEXICO CENTROAMERICA, PANAMA y REPUBLICA DOMINICANA (PROMECAFE) del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) por el Patrocinio de esta publicación.

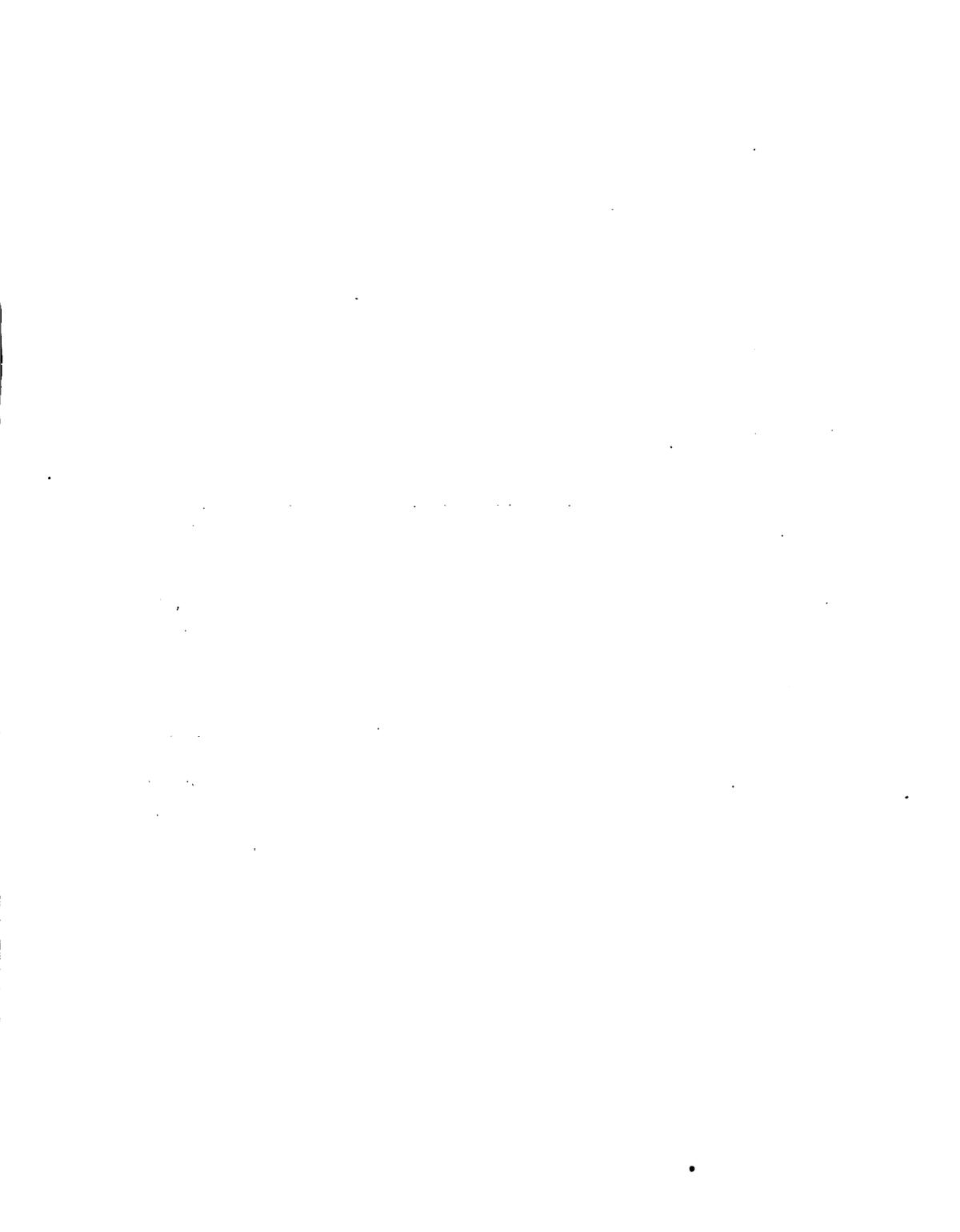


## **1. INTRODUCCION**

El análisis de una muestra de suelo es una herramienta básica, que al igual que un análisis de sangre para el médico, ayuda al agrónomo a diagnosticar los problemas que sobre nutrición mineral podrían presentarse en un terreno destinado al cultivo de alguna planta, permitiendo derivar las recomendaciones de fertilización, con la finalidad de alcanzar óptimos rendimientos.

Es necesario tomar en cuenta que para el análisis químico de suelo es aplicable el axioma que dice que: **EL ANALISIS NO PUEDE SER MEJOR QUE LA MUESTRA**. Es por ello que los agrónomos debemos seguir cuidadosamente las recomendaciones para obtener una muestra de suelo representativa de una parcela a través de un buen muestreo, a fin de que los resultados del análisis le permita al experto del laboratorio la correcta interpretación de ellos, para derivar las recomendaciones de fertilización mineral pertinente.

La presente monografía tiene por objeto revisar los conceptos como se expresan los resultados del análisis químico de una muestra de suelo y las consideraciones para uniformar dichos resultados en equivalencia expresadas en kilogramos del elemento analizados por hectárea de terreno (kg/ha).



## 2. EL ANALISIS DEL SUELO

El suelo es la capa de componentes minerales y orgánicos que cubre la corteza terrestre, en la cual las plantas desarrollan sus raíces. Algunos de esos componentes juegan un papel importante en la nutrición de las plantas.

El análisis de suelo, permite por medios químicos, determinar cuantitativamente los principales elementos minerales presentes en la muestra, como también los contenidos de materia orgánica, el valor pH, y por medios físicos, determinar los contenidos de limo, arena y arcilla para establecer la textura del suelo.

En Panamá, los análisis de suelo los realiza, entre otros, el Laboratorio de Suelos del Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Panamá (IDIAP), en sus instalaciones en Divisa, Provincia de Veraguas.

El IDIAP facilita a los interesados cajas de cartón con capacidad para una libra de suelo aproximadamente, la cual lleva impresa un formulario para anotar informaciones de campo que requiere conocer el laboratorio de análisis de suelo (Foto N° 1.)

Los resultados de un análisis de suelo se obtienen en el laboratorio transcurrido aproximadamente 15 días de la fecha de entrega de la muestra, cuando la misma viene húmeda del campo (Foto N° 2 y N° 3).

Estos resultados son registrados en el formato denominado ANALISIS Y RECOMENDACIONES PARA LA PRODUCCION DE COSECHAS (ver Fig. N° 1), el cual es entregado al interesado por parte del laboratorio de suelos. En él aparecen registrados los contenidos de arena, limo y arcilla expresados en porcentaje (%), para determinar la textura del suelo, de acuerdo con la guía de clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Fig. N° 2).



**Foto N° 1**  
**Caja de Cartón para presentar muestra de suelo para análisis al laboratorio del IDIAP.**

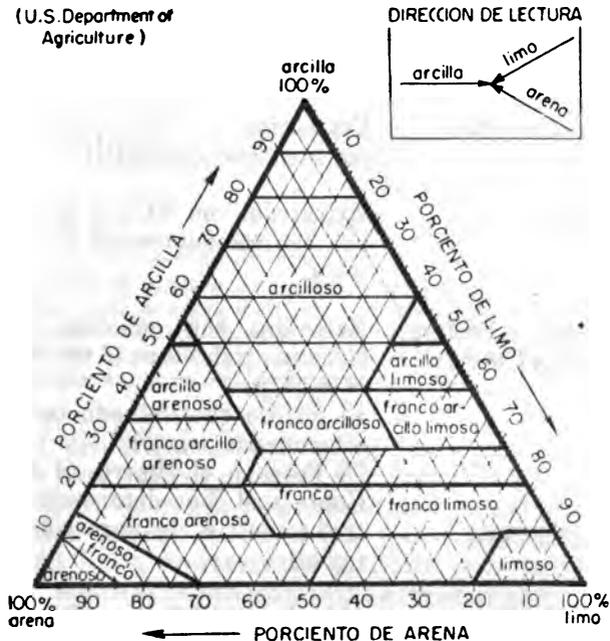


**Foto N° 2**  
**Determinación del valor pH del Suelo en el laboratorio de Análisis, utilizando la relación suelo: agua de 1 a 2.5.**



**Foto N° 3**

**Vista del Espectro-fotometro de absorción atómica utilizado por el laboratorio de Suelos para determinar los contenidos de Calcio, Magnesio, Potasio, Hierro, Manganeso, Cobre y Zinc.**



**Fig. N° 2**

**Guía para la clasificación de la textura de los suelos (porcentaje de arcilla, limo y arena en las diferentes clases texturales).**

También en ese formato aparecen los contenidos de Fósforo (P), Potasio (K), Manganeseo (Mn), Hierro (Fe), Zinc (Zn) y Cobre (Cu) expresados en microgramos por mililitro de suelo (ug/ml); los de Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Aluminio (Al) expresados en miliequivalente por cien mililitros de suelo (meq/100 ml); el de materia orgánica (M.O.) expresado en porcentaje (%) y el valor de pH del suelo.

Para realizar todas esas determinaciones el laboratorio de suelo del IDIAP utiliza los diversos métodos que se detallan en el Cuadro N° 1.

**Cuadro N° 1**  
**Metodos de análisis**  
**utilizados en el Laboratorio de Suelos.**

ELEMENTO A ANALIZARSE	METODO DE ANALISIS
pH	Relación suelo: agua 1 a 2.5
Aluminio Intercambiable (meq/100 ml)	Extracción con $KCl$ 1 N y determinado por titulación con $NaOH$ .
Calcio y Magnesio (meq/100 ml)	Extracción con $KCl$ 1 N y determinado por espectrofotometría de absorción atómica.
Potasio, Hierro, Fósforo, Manganeseo, Zinc y Cobre	Extraídos con solución extractora de Carolina del Norte (0.05 N $HCl$ + 0.025 N $H_2SO_4$ ). El fósforo determinado como fosfato por colorimetría, en ug/ml. El Potasio, el Hierro, el Manganeseo, el Cobre y el Zinc determinados por espectrofotometría de absorción atómica, en ug/ml.
Materia Orgánica (%)	Método de Walkley - Black combustión vía húmeda.
Textura	Método de Bouyoucos.

En el mismo formato aparecen los resultados de la interpretación del análisis, de acuerdo a niveles ya establecidos en la categoría de bajo, mediano y alto, cuyos valores aparecen registrados en el Cuadro N° 2.

**Cuadro N° 2**  
**Valores de los niveles para cada elemento**  
**analizado en Laboratorio de Suelos <sup>1/</sup>**

Elemento	BAJO	MEDIO	ALTO
Fósforo	< 19 ug/ml	19 a 54 ug/ml	> 54 ug/ml
Potasio	< 45 ug/ml	45 a 150 ug/ml	> 150 ug/ml
Calcio	< 3 meq/100 ml	3 a 5 meq/100 ml	> 5 meq/100 ml
Magnesio	< 0.6 meq/100 ml	0.6 a 1.5 meq/100 ml	> 1.5 meq/100 ml
Aluminio	< 0.5 meq/100 ml	0.5 a 1.0 meq/100 ml	> 1.0 meq/100 ml
Manganeso	< 15 ug/ml	15 a 49 ug/ml	> 49 ug/ml
Hierro	< 25 ug/ml	25 a 74 ug/ml	> 74 ug/ml
Cobre	< 4 ug/ml	4 a 14 ug/ml	> 14 ug/ml
Zinc	< 2 ug/ml	2 a 6 ug/ml	> 6 ug/ml
Materia Orgánica	< 3 %	3 a 6 %	> 6%

<sup>1/</sup> Esta es una tabla de interpretación general, ya que los valores de los niveles para cada elemento pueden variarse según el cultivo. También como en el caso del manganeso el valor de los niveles varían en función del pH. En el caso del Aluminio, es quizás más importante conocer el porcentaje de saturación de aluminio (la denominación de acidez intercambiable) que el mismo contenido de aluminio extraíble.

Para el pH el laboratorio aplica las siguientes denominaciones: **muy ácido** para valores menor a 5.2; **ácido** para valores de 5.2 a 5.9; **poco ácido** para valores de 6.0 a 6.9; **neutro** para el valor 7; **ligeramente alcalino** para valores de 7.1 a 8.0; **moderadamente alcalino** para valores de 8.1 a 9.0; **fuertemente alcalino** para valores de 10.1 a 11.0; **extremadamente alcalino** para valores superior a 11.0.

Finalmente en el reverso del formato aparecen las recomendaciones de fertilización formuladas por los especialistas del laboratorio, expresadas en nutrimentos (Lbs/Ha). de nitrógeno (N), fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y potasio (K<sub>2</sub>O) o en fórmulas comerciales, señalándose la cantidad, la época y la forma de aplicación.

Para los análisis químicos el laboratorio utiliza medidas de volumen de suelo, en vez de medidas de peso, para el análisis de P, K, Mn, Fe, Zn y Cu, en donde los resultados son expresados en microgramos por mililitro de suelo (ug/ml) o para Ca, Mg, y Al donde se expresan en miliequivalentes por cien mililitros de suelo (meq/100 ml). Solo para la determinación de materia orgánica se utiliza medida de peso (gramos de suelo), expresando el resultado en porcentaje (%).

### **3. Algunas consideraciones sobre Unidades de Medida.**

Como ya se ha visto en el análisis de laboratorio se utilizan unidades de peso y de volumen del sistema métrico decimal. Tomando en cuenta que para el análisis químico se utilizan apenas pequeñas partes (alícuotas) de la muestra de suelo, ya sean mililitros (ml) o gramos (gr), es conveniente recordar algunas equivalencias y expresiones aplicables a ese sistema de medición.

#### **3.1 Medidas de Volumen**

La base en el sistema métrico decimal para medidas de volumen la constituye el LITRO (L), el cual tiene una capacidad de 1,000 centímetros cúbicos (cc ó cms<sup>3</sup>) o 1,000 mililitros (ml). Ello significa que cc y ml son medidas de volumen equivalentes. Es decir que el litro los constituye un volumen que tiene 10 centímetros en sus tres dimensiones (ancho, largo y espesor).

$$V = 10 \text{ cm.} \times 10 \text{ cm.} \times 10 \text{ cm.} = 1,000 \text{ cm}^3 = 1,000 \text{ cc} = 1,000 \text{ ml}$$

Así tenemos que un ml de suelo es la milésima parte de 1 litro de suelo.

$$1 \text{ ml suelo} = 0.001 \text{ litro suelo}$$

Para cuando se tiene que medir volúmenes mayores se utiliza la medida denominada METRO CUBICO, el cual es equivalente a 1,000 litros. Es decir que algo cuyas medidas sean en sus tres dimensiones 1.0 metro ocupan un volumen de 1,000 litros, porque.

$$V = 1.0 \text{ m} \times 1.0 \text{ m} \times 1.0 \text{ m} = 1.0 \text{ m}^3, \text{ pero es necesario tomar en cuenta que } 1.0 \text{ m}^3 = 100 \text{ cm} \times 100 \text{ cm} \times 100 \text{ cm} = 1,000,000 \text{ cm}^3 = 1 \times 10^6 \text{ cc}$$

Si un litro de suelo es igual a 1,000 cc de suelo\*, 1.0 m<sup>3</sup> de suelo le corresponden:

$$1 \text{ m}^3 = \frac{1,000,000 \text{ cc}}{1,000} = 1,000 \text{ litros}$$

### ***3.2 Medidas de Peso (Masa)***

La base en el sistema métrico decimal para medidas de peso lo constituye el KILOGRAMO (kg), el cual está constituido por mil (1,000) GRAMOS (gr). Así tenemos que un (1) gr. de suelo es la milésima parte de un (1) kg de suelo.

$$1 \text{ gr. de suelo} = 0.001 \text{ kg suelo.}$$

En el laboratorio los contenidos de elemento en cantidades muy pequeñas hay que expresarlos en MILIGRAMO (mg), que es la milésima parte de un gramo, entonces tenemos que:

$$1 \text{ mg} = 0.001 \text{ gr, y también } 1 \text{ mg} = 0.000001 \text{ kg}$$

Pero para cantidades aún más pequeñas se expresan en MICROGRAMOS (ug), que constituye la milésima parte de un miligramo o la millonésima parte de un gramo, entonces tenemos que:

$$1 \text{ ug} = 0.0001 \text{ mg, y también } 1 \text{ ug} = 0.000001 \text{ gr y } 1 \text{ ug} = 0.000000001 \text{ kg}$$

Para cuando se tiene que medir pesos mayores se utiliza la medida de masa denominada TONELADA METRICA, que es equivalente a mil (1,000) kg.

### ***3.3 Medida de Superficie***

Para la medida de superficie se utiliza la HECTAREA, que represent una superficie de diez mil (10,000) metros cuadrados, es decir, como ejemplo:

---

\* Se asume que la densidad aparente del suelo es igual a 1.

$$100 \text{ m} \times 100 \text{ m} = 10,000 \text{ m}^2$$

Así tenemos que si un terreno mide (1) kilómetro de ancho por 1 kilómetro de largo, el mismo tiene 100 has., porqué:

1,000 m x 1,000 m = 1,000,000 m<sup>2</sup>, pero una ha tiene 10,000 m<sup>2</sup>, entonces:

$$\frac{1,000,000 \text{ m}^2}{10,000 \text{ m}^2} = 100 \text{ has}$$

#### 4. Partes por Millón (ppm)

La expresión parte por millón o ppm es muy utilizada cuando se trata de medir cantidades muy pequeñas, y representan las cantidades de partes en un millón de partes. Así cuando se indica que en un suelo hay 8 ppm de potasio, nos está indicando que un millón solo ocho partes lo constituye el potasio. En otras palabras 1 ppm representa la millonésima parte de algo.

Como 1 mg = 0.000001 kg, entonces 1 ppm = 1mg/kg o 1mg.kg<sup>-1</sup>

Así tenemos para las medidas de peso, la aplicación de la denominación parte por millón.

$$\begin{aligned} 1 \text{ ppm} &= 1 \text{ gr/t} \\ 1 \text{ ppm} &= 1 \text{ mg/kg} \\ 1 \text{ ppm} &= 1 \text{ ug/gr} \\ 1 \text{ ppm} &= 1 \text{ mg.kg}^{-1} \end{aligned}$$

También  
1 % = 10,000 ppm

Tomando en cuenta que en condiciones establecidas se presenta equivalencia en peso y volúmen, también:

$$\begin{aligned} 1 \text{ ppm} &= 1 \text{ ug/ml} \\ 1 \text{ ppm} &= 1 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

#### 5. Unidades de Medidas utilizadas en el Análisis de Suelo

Como ya se anotó, el laboratorio indica los resultados del análisis en base a % para los contenidos de materia orgánica, en miliequivalentes por 100 ml. de suelo (meq/100ml) para Ca, Mg, y Al y en microgramos por mililitros (ug/ml) para los contenidos de P, K, Mn, Fe, Zn y Cu.

### **5.1. Unidad de Medida a base de Porcentaje (%).**

El porcentaje es una medida aplicable a cantidades grandes de componentes. Así tenemos que si en un análisis se indica que el suelo contiene 6.7% de materia orgánica (nivel alto), significa que de la cien partes que lo constituyen 6.7 partes lo conforman la materia orgánica.

Si deseáramos conocer el contenido de materia orgánica por hectárea de tierra, necesitaríamos conocer la densidad aparente de ese suelo (d.a) además de la profundidad a la cual se tomaron las muestras de tierra. Ese cálculo se explicará en la parte final de esta publicación.

Actualmente en las publicaciones científicas se expresa que 1% = dag.kg<sup>-1</sup>.

### **5.2 Unidad de Medida a base de Miliequivalente por cien mililitros de Suelo (meq/100 ml)**

Esta unidad de medida se basa en algunos principios de química general, en donde se toma en cuenta conceptos de peso atómico, peso equivalente y valencia de algunos elementos minerales, como es el caso del Calcio, el Magnesio y el Aluminio.

Entonces es necesario recordar esos principios de química general antes de analizar que es un miliequivalente de un elemento.

Así tenemos que desde la hipótesis de Daltón y Avogrado se determinó la existencia de átomos y moléculas para explicar las relaciones de combinación de las sustancias reaccionantes, y que las distintas clases de átomos tenían una masa definida, la cual se denominó PESO ATOMICO. Así lograron determinar a partir del peso molecular de los compuestos de un elemento determinado su correspondiente peso atómico, correspondiendo al Calcio 40.08 gr, al Magnesio 24.31 al Aluminio 26.98 gr, etc.

Por otro lado tenemos que el peso equivalente de un elemento es la cantidad del mismo elemento que se combina con (o sustituye a) 8.000 partes de Oxígeno o 1.008 partes de hidrógeno. Tomando como referen-

cia el átomo de hidrógeno para expresar numéricamente la capacidad de combinación de los átomos de diversos elementos, se llega a determinar la VALENCIA, la cual se define como el número de átomos de hidrógeno que pueden unirse o pueden ser sustituidos por un átomo del correspondiente elemento químico.

Así el Aluminio es trivalente (valencia = 3) porque aunque no se combina con el hidrógeno lo sustituye en los ácidos y bases, reemplazando un átomo de Al (un átomo gramo) a tres átomos (tres átomos gramos) de hidrógeno.

Esto indica entonces que existe una relación sencilla entre el peso atómico, el peso equivalente y la valencia de un elemento, puesto que un peso equivalente se combina o sustituye a un átomo de hidrógeno, y el peso atómico se une o reemplaza a tantos átomos de hidrógeno como lo indica su valencia. Se deduce entonces que:

Peso atómico = Peso Equivalente x Valencia, y también que:

$$\text{Peso Equivalente (PE)} = \frac{\text{Peso Atómico}}{\text{Valencia}}$$

Entonces se derivan los pesos equivalentes siguientes:

$$\text{P.E. del Calcio} = \frac{40.08 \text{ gr}}{2} = 20.04 \text{ gr}$$

$$\text{P.E. del Aluminio} = \frac{26.98 \text{ gr}}{3} = 8.99 \text{ gr}$$

$$\text{P.E. del Magnesio} = \frac{24.31 \text{ gr}}{2} = 12.15 \text{ gr}$$

Cuando esos peso equivalente se divide entre MIL entonces se obtienen el MILIEQUIVALENTE (meq) así:

$$1 \text{ meq Ca} = \frac{20.04 \text{ gr}}{1,000} = 0.02004 \text{ gr} = 20.04 \text{ mg Ca}$$

$$1 \text{ meq Mg} = \frac{12.15 \text{ gr}}{1,000} = 0.01215 \text{ gr} = 12.15 \text{ mg Mg}$$



$$1 \text{ meq Al} = \frac{8.99 \text{ gr}}{1,000} = 0.00899 \text{ gr} = 8.99 \text{ mg Al}$$

De allí que cuando por ejemplo en un análisis se indique que de Ca hay 3.90 meq/100 ml de Suelo, signifique entonces que en realidad hay 3.90 mg de Ca/100 L de suelo.

En la literatura moderna los contenidos de esos cationes ya no son expresados en meq/100 g. En su lugar se ha introducido la expresión cmol. K<sup>-1</sup> (centimoles por kilogramo).

Con ello se ha establecido la siguiente equivalencia:

$$1 \text{ meq/100 gramo} = 1 \text{ cmol. kg}^{-1} \text{ (centimol por kilogramo)}$$

### ***5.3 Microgramo por Mililitro de Suelo (ug/ml)***

El microgramo (ug) es una medida de peso que ya fue analizada en el punto 3.2, el constituye la milésima parte de un miligramo, o sea

$$1 \text{ ug} = 0.001 \text{ mg, o también } 1 \text{ ug} = 0.000001 \text{ gr, y } 1 \text{ ug} = 0.000000001 \text{ Kg}$$

Cuando los resultados del análisis se indica en ug/ml, esto es equivalente a ppm. Así si la muestra indica que hay 4.0 ug/ml de P, significa que en un millón hay solo 4 partes de P.

Es adecuado señalar que algunos laboratorios de análisis de suelo para agilizar su trabajo utilizan una unidad de volumen (ml) de suelo en lugar de una unidad de peso (gramos). De allí que los contenidos de P, K, Mn, Fe y Zn se expresen en ug/ml.

## **6. Algunas consideraciones sobre resultados analíticos y las soluciones extractoras**

Antes de analizar los cálculos que tienen que hacerse para expresar el contenido de elementos minerales y orgánicos de una muestra de suelo en una unidad uniforme como lo sería en kilogramo del elemento por hectárea de suelo (Kg/Ha), es necesario indicar que los valores encontrados y expresados en Kg del nutrimento por ha, son

cantidades extraíbles, con una determinada solución extractora creada por el hombre, las cuales tratan de extraer del suelo en forma teórica lo que la planta podría absorber o estar disponible para ella. Estas cantidades extraíbles, en algunos casos parte o en su totalidad pueden ser disponible para las plantas.

Así tenemos que para la determinación del aluminio, calcio y magnesio en el laboratorio se utilice en KCL 1 N como solución extractora, mientras que para el potasio, hierro, fósforo, manganeso, zinc y cobre, el laboratorio de suelos del IDIAP emplea la solución extractora de Carolina del Norte, o solución de Mehlich o de doble ácido.

Esto significa que los resultados del laboratorio, que son valores cuantitativos, en realidad no son valores que reflejen los contenidos totales de los nutrimentos en el suelo. Por ejemplo, si un resultado analítico indica un contenido de 8 Kg de fósforo/ha, de ninguna manera eso quiere decir que es la cantidad de P disponible para la planta. Las plantas pueden extraer más de esa cantidad, o en otros casos menos de esa cantidad.

Las soluciones extractoras existentes extraen en su mayoría las pequeñas cantidades del nutrimento de la solución del suelo (factor intensidad), que está en equilibrio con el nutrimento de la fase sólida del suelo (factor capacidad). En el último caso, las soluciones extractoras extraen solo parte de ese nutrimento.

La solución extractora de Carolina del Norte utilizada para extraer P del suelo actúa en dos formas: como acción solvente de P y como acción intercambio de aniónico entre fosfato por sulfatos. En la acción solvente, solubiliza primero los fosfatos de calcio, luego los fosfatos de aluminio y por último fosfatos de hierro. Como acción de intercambio aniónico del fosfato que está absorbido sobre la superficie de la fase sólida del suelo principalmente en los óxidos hidratados de Fe y Al pueden ser reemplazados por otro anión como el caso del sulfato que se encuentra en el  $H_2SO_4$  de la solución extractora.

## **7. Cálculos para expresar el contenido de Elementos en Kg/ha**

Los resultados del análisis químico de suelo se pueden transformar en una sola unidad de medida de peso por unidad de superficie, luego de hacer una serie de transformaciones y operaciones matemáticas.

Como ejemplo se tomará el resultado de un análisis reportado en el formato que aparece en la Fig. #1 que es de una muestra de suelo tomada en la parcela de Gloria Sánchez, en el Corregimiento de Río Sereno Distrito de Renacimiento, Provincia de Chiriquí, quién cultiva café.

Tomando en cuenta que los resultados deseamos transformarlo en kilogramo de elemento por hectárea de terreno, hay que efectuar los cálculos para conocer que Volúmen de tierra hay en una hectárea, en donde la muestra se tomó a 0.20 m de profundidad.

Entonces:

$$\begin{aligned} \text{Volúmen de una } ^{(1)} \text{ ha} &= \text{Area} \times \text{profundidad} \\ V &= 10,000 \text{ M}^2 \times 0.2 \text{ m} \\ V &= 2,000 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Es decir que cuando la muestra se toma a 0.2 m de profundidad, una ha de terreno tiene un volúmen de 2,000 m<sup>3</sup>.

Ya en el punto 3.1 habíamos determinado que un metro cúbico de suelo contenía mil litro de suelo (1 m<sup>3</sup> = 1,000 L)

Entonces, una hectárea de tierra tiene:

$$\begin{array}{rcl} 1.0 \text{ m}^3 & \text{---} & 1,000 \text{ L} \\ 2,000 \text{ m}^3 & \text{---} & X \end{array}$$

$$X = 2,000,000 \text{ L pero como también un litro tiene 1,000 mililitro, la Ha. de tierra tiene:}$$

$$2,000,000 \times 1,000 = \underline{2,000,000,000 \text{ ml}}$$

Ahora en el caso del análisis de la Sra. Sánchez se reporta que hay 120 ug de potasio por mililitro (8 ppm), en una hectárea de terreno, asumiendo que la densidad del suelo es 1, en una ha. de terreno habrá:

$$120 \text{ ug} \times 2,000,000,000 \text{ ml} = 240,000,000,000 \text{ ug de potasio}$$

Pero es necesario recordar que un ug equivale a 0.000000001 kg, entonces por aritmética:

$$240,000,000,000 \times 0.000000001 = 240 \text{ kg de potasio/ha.}$$

Significa finalmente que en una hectárea de tierra de la Sra. Sánchez, a 20 cm de profundidad hay extraíble 240 kg de Potasio por Ha.

Con la finalidad de hacer los cálculos aritméticos más sencillos, tomando en consideración que los resultados de contenido de los elementos reportados por el laboratorio de suelo se expresen en parte por millón (ppm) y que el volumen de suelo de una ha, también alcanza la cifra expresada en millones de litros, para un suelo de una ha. de superficie y a profundidad de 0.2 asumiendo una densidad del suelo igual a uno, para obtener el contenido de Kg/ha solamente es necesario multiplicar ppm por dos ( $\text{ppm} \times 2 = \text{kg/ha}$ ).

Con esa fórmula simple ahora podríamos hacer el resto de los cálculos según lo que se reporta en la Fig. #1.

Contenido de K/ha	= ppm K x 2	= 120 ppm x 2 = 240 Kg K/ha
Contenido de P/ha	= ppm P x 2	= 1.5 ppm x 2 = 3 Kg P/ha
Contenido de Fe/ha	= ppm Fe x 2	= 14 ppm x 2 = 28 Kg Fe/ha
Contenido de Mn/ha	= ppm Mn x 2	= 21 ppm x 2 = 42 Kg Mn/ha
Contenido de Zn/ha	= ppm Zn x 2	= 2 ppm x 2 = 4 Kg Zn/ha
Contenido de Cu/ha	= ppm Cu x 2	= 8 ppm x 2 = 16 Kg Cu/ha

Ahora hay que tomar en cuenta que los contenidos de Ca, Mg y Al el laboratorio en el formato los tiene expresados en meq/100 ml de suelo, entonces antes de calcular el contenido de ellos en Kg/ha será necesario transformar meq/100 ml a ppm. Primero será necesario pasar de meq/100 ml a meq/1,000 ml (meq/l de suelo)

Así tenemos entonces que para hacer esa operación apenas hay que multiplicar por 10 los meq de cada elemento y obtendremos, según los resultados del análisis:

Meq Ca/100 ml x 10	= meq Ca/L suelo
8.26 x 10	= 82.6 meq Ca/L suelo
Meq Mg/100 ml x 10	= meq Mg/L suelo
1.2 x 10	= 12 meq Mg/L suelo
Trazas x 10	= trazas Al/L suelo

Ahora, así se multiplica meq/L suelo x P.E. de cada elemento se obtendrá ug/ml o ppm así tenemos:

$$\text{ppm de Ca} = \text{meq Ca/L} \times \text{P.E. Ca} = 82.6 \text{ meq Ca/L} \times 20.04 = 1,655.3$$

$$\text{ppm de Mg} = \text{meq Mg/L} \times \text{P.E. Mg} = 12 \text{ meq Mg/L} \times 12.15 = 145.8$$

Más abreviada podríamos encontrar que:

$$\text{Meq Ca/100 ml suelo} \times 200.4 = \text{ppm de Ca}$$

$$\text{Meq Mg/100 ml suelo} \times 121.5 = \text{ppm de Mg}$$

Ahora aplicando la fórmula derivada anteriormente en donde Kg/ha = ppm x 2 tenemos:

$$\text{Contenido de Ca/ha} = \text{ppm Ca} \times 2 = 1,655.3 \times 2 = 3,310.6 \text{ Kg Ca/ha}$$

$$\text{Contenido de Mg/ha} = \text{ppm Mg} \times 2 = 145.8 \times 2 = 291.6 \text{ Kg Mg/ha}$$

Finalmente la materia orgánica está expresada en % por unidad de peso. Entonces para hacer el cálculo del contenido de M.O. en Kg/ha, hay que conocer la densidad aparente (d.a) de ese suelo, que no es más que la relación entre la masa de suelo y su volumen total, incluyendo el espacio poroso (da = peso seco suelo/volumen del suelo). Si para ese suelo, a manera de ejemplo su densidad aparente fuera de 1.0 gr/cm<sup>3</sup> entonces el peso de una ha de terreno sería.

$$\begin{aligned} \text{Peso ha} &= \text{Superficie} \times \text{profundidad} \times \text{d.a.} \\ &= 10,000 \text{ m}^2 \times 0.2 \text{ m} \times 1.0 \text{ gr/cm}^3 \\ &= 2,000,000 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Entonces, si la muestra de la Sra. Sánchez indica que tenía 6.7% de materia orgánica, para calcular el contenido por ha. se haría la siguiente operación.

$$2,000,000 \text{ Kg} \times 0.1032 = 206,400 \text{ Kg M.O./ha}$$

Ahora si tenemos todos los contenidos de elementos analizados en el laboratorio expresados en una sola unidad de peso, observándose en el Cuadro #3 como han cambiado de los resultados que se reciben del laboratorio a la expresión de contenido en Kg/ha.

**Cuadro #3**  
**Equivalencia en las unidades de peso de los**  
**elementos analizados por el laboratorio de suelos.**

ELEMENTO	RESULTADO SEGUN LABORATORIO	CONTENIDO EQUIVALENTE (Kg/Ha. extraíble)
Fósforo (P)	1.5 ug/ml	3 Kg/ha (3 Kg P ha <sup>-1</sup> )
Potasio (K)	120.0 ug/ml	240 Kg/ha (240 Kg K ha <sup>-1</sup> )
Calcio (Ca)	8.26 meq/100 ml	3,310.6 Kg/ha (3,310.6 Kg Ca ha <sup>-1</sup> )
Magnesio (Mg)	1.2 meq/100 ml	291.6 Kg/ha (291.6 Kg Mg ha <sup>-1</sup> )
Aluminio (Al)	trazas	trazas (trazas)
Materia Orgánica (M.O.)	10.32%	206,400 Kg/ha (206,400 Kg MO ha <sup>-1</sup> )
Manganeso (Mn)	21 ug/ml	42 Kg/ha (42 Kg Mn ha <sup>-1</sup> )
Hierro (Fe)	14 ug/ml	28 Kg/ha (28 Kg Fe ha <sup>-1</sup> )
Zinc (Zn)	2 ug/ml	4 Kg/ha (4 Kg Zn ha <sup>-1</sup> )

Puede observarse ahora porqué en el análisis de laboratorio, con la finalidad de indicar los contenidos de los diversos elementos en unidades o números enteros, se tiene que recurrir a expresiones de medidas diversas, aplicándose ug/ml o ppm para los contenidos menores (P, K, Mn, Fe, Zn y Cu), la de meq/100 ml para los contenidos intermedios (Ca, Mg, y Al), y en % para contenidos mayores (caso de la M.O.)

Solo a manera de ejemplo podríamos observar la poca aplicación y cierta confusión que podría traer tratar de expresar el contenido de P en la muestra de la Sra. Sánchez que era de 1.5 ug/ml = 3 Kg/ha en porcentaje, lo cual resultaría 0.00015%.

Es por ello que para conocer en magnitud el contenido en una sola medida, para el técnico es conveniente derivar las equivalencias de los diferentes elementos en unidades de peso, como lo es kilogramos por hectárea (kg/ha).

## **8. BIBLIOGRAFIA**

- 1.- BABOR, J. y IBARZ, J. 1965. Química General Moderna. Editorial Marín. Barcelona, España pp. 37, 39.
- 2.- CARVAJAL, J. 1984. Cafetos. Cultivo y Fertilización. Segunda Edición. Instituto Internacional de la Potasa. Berna, Suiza. pp. 204, 206.
- 3.- CENTRO DE GENETICA DEL COLEGIO DE POST-GRADO, CHAPINGO, MEXICO. 1983. Guía para el uso del Sistema Internacional de Unidades. Traducción de A. Carballo. Chapingo, México. 26 p.
- 4.- FASSBENDER, H. y BORNEMISZA, E. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Editorial IICA. Costa Rica. 420 p.
- 5.- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. 1987. Los Suelos y su Fertilidad. Ministerio de Agricultura. Compendio N° 23. Colombia. 330 p.
- 6.- JACKSON, M. 1964. Análisis químico de suelos. Ediciones Omega. Barcelona, España. 662 p.
- 7.- NAME, B. 1982. Técnicas para determinar deficiencias de nutrientes en el suelo. Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Panamá. Panamá 24 p.
- 8.- NUÑEZ, J. 1985. Fundamentos de Edafología. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica. 185 p.
- 9.- SUAREZ DE CASTRO, F. 1965. Conservación de suelos. Salvat editores. Barcelona, España. p. 15.
- 10.- VALENCIA, G. y CARRILLO, I. 1983. Interpretación de análisis de suelos para café. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. p.s.n.

## ANEXO 1

### Peso Atómico de elementos químicos relacionados con la agricultura

ELEMENTO	SIMBOLO	PESO ATOMICO
Nitrógeno	N	14.008
Fósforo	P	30.975
Potasio	K	39.1
Calcio	Ca	40.08
Magnesio	Mg	24.32
Azufre	S	32.066
Sodio	Na	22.991
Hierro	Fe	55.85
Zinc	Zn	65.38
Manganeso	Mn	54.94
Boro	B	10.82
Molibdeno	Mo	95.95
Cloro	Cl	35.457
Aluminio	Al	26.98
Plomo	Pb	207.21
Yodo	I	126.91
Cobalto	Co	58.94
Carbono	C	12.011
Hidrógeno	H	1.008
Oxígeno	O	16.00
Flúor	F	19.00

## ANEXO 2

### Tabla de Constantes y Conversiones de uso frecuente en Agricultura

#### *Medidas de Longitud*

1 metro = 100 centímetros = 3.28 pies = 39.37 pulgadas.  
1 pie = 0.305 metro = 30.48 centímetros = 12 pulgadas.  
1 yarda = 0.914 metro = 100 pulgadas.  
1 kilómetro = 1,000 metros = 3,281 pies  
1 pulgadas = 2.54 centímetros.

#### *Medidas de Volúmen*

1 litro = 1,000 centímetros cúbicos (cc) o ml.  
1 galón (us) = 3.785 litros.  
1 galón (inglés) = 4.54 litros.  
1 onza fluida americana = 29.57 cc.  
1 pinta = 16 onza fluidas = 473.12 cc.  
1 cucharada = 15 cc = 0.5 onzas fluida.  
1 botella (ron) = 750 cc  
1 tanque o estaño = 55 galones.

#### *Medidas de Masa*

1 kilogramo = 1,000 gramos = 2.204 libras.  
1 gramo = 1,000 miligramos (mg) = 1,000,000 microgramos (ug).  
1 libra = 0.4536 kilogramos = 453.6 gramos = 16 onzas av.  
1 onza = 28.36 gramos                      1 quintal = 100 libras.  
1 tonelada métrica = 1,000 kilogramos = 2,204.6 libras.  
1 tonelada corta = 2,000 lbs. = 20 quintales  
1 tonelada larga = 22.40 lbs. = 22.4 quintales.

#### *Medidas de Superficie*

1 hectárea = 10,000 m<sup>2</sup> = 2.471 acres.  
1 área = 100 m<sup>2</sup>                      1 acre = 4,049.5 m<sup>2</sup>  
1 m<sup>2</sup> = 1.196 yarda<sup>2</sup>                      1 yarda<sup>2</sup> = 0.8361 m<sup>2</sup>

## **Temperatura**

- a) Para convertir de grados fahrenheit (°F) a grados centígrados (°C) aplicar la fórmula:  $5/9 \times ^\circ\text{F} - 17.8$   
Ejemplo: Convertir 212 °F a °C. Tenemos:  $5/9 \times 212 - 17.8 = 100^\circ\text{C}$
- b) Para convertir grados centígrados (°C) a grados Fahrenheit (°F) aplicar la fórmula:  $1.8 \times ^\circ\text{C} + 32$   
Ejemplo: Convertir 100°C a °F. Tenemos:  $1.8 \times 100 + 32 = 212^\circ\text{F}$ .

## **Fórmula para conocer N° plantas por superficie a sembrarse**

- a) Para siembra en cuadrado  $n = a/d^2$   
a = área del terreno en metros cuadrados.  
d = distancia en metros entre plantas  
Ejemplo: N° de árboles que caben a 1 ha. a distancia de 1.5 m x 1.5 m

$$n = \frac{10.000}{1.5 \times 1.5} = \frac{10.000}{2.25} = 4,444 \text{ árboles}$$

- b) Para siembra en triángulo  $n = a/d^2 \times 1.1547$   
a = área del terreno en m<sup>2</sup>  
d = distancia en metro entre plantas  
Ejemplo: N° de árboles que caben en 1 Ha. a distancia 1.5 m x 1.5 m.

$$n = \frac{10.000}{15 \times 1.5} \times 1.1547 = \frac{11.540}{2.25} = 5,132 \text{ árboles}$$

- c) Distancia entre hileras es diferente a distancia entre plantas  
 $n = \frac{l}{d} \times \frac{a}{D}$  donde  $n =$  número de plantas  
l = largo del terreno en m.  
a = ancho del terreno en m.  
d = distancia entre hileras  
D = distancia entre plantas

Ejemplo: Cuantas plantas se pueden sembrar en terreno de 200 m largo y 50 m de ancho, a distancia de 1 m entre plantas y 2 metros entre hileras.

$$n = \frac{200}{2} \times \frac{50}{1} = 100 \times 50 = 5,000 \text{ árboles}$$

## **Conversiones Varias**

Ca x 1.40 = CaO (óxido de calcio)  
Mg x 1.658 = MgO (óxido de magnesio)  
K x 1.20 = K<sub>2</sub>O (óxido de Potasio)  
P x 2.29 = P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (pentóxido de fósforo)

## ANEXO #3

### Algunos conceptos relacionados con la fertilidad del suelo

#### *pH del Suelo*

El pH es un valor que permite medir la actividad de los iones de hidrógeno en la suspensión del suelo, el cual representa el logaritmo del recíproco de la concentración de iones de hidrógeno en la solución del suelo ( $\text{pH} = \log. \frac{1}{(\text{H}^+)}$  la cual da origen a la denominada "*acidez activa*").

Así tenemos que la reacción del suelo puede ser ácida, neutra o básica. Cuando sea ácida, para algunos casos será necesario neutralizar la concentración de iones de hidrógeno mediante la aplicación de cal.

Es muy importante conocer el valor pH de un suelo, ya que el mismo se relaciona con la solubilidad de los elementos minerales del suelo y la adaptabilidad de determinados cultivos en ciertos rangos de valores pH.

Es necesario tomar en cuenta que también existen iones de  $\text{H}^+$  y  $\text{Al}^{+++}$  que están neutralizando cargas negativas de la fracción coloidal del suelo y formando compuestos, lo cual da origen a la denominada "*acidez potencial*".

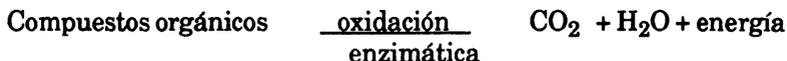
#### *Materia Orgánica y Nitrógeno*

"La materia orgánica del suelo es un material complejo sujeto a cambios continuos de síntesis y descomposición, y consiste de un amplio grupo de sustancias que van desde tejidos vegetales y anima-

les y células microbianas no descompuestas, pasando por productos de descomposición de corta duración hasta material estable amorfo sin vestigios de la estructura anatómica del material original".

Los procesos de transformación de la materia orgánica en el suelo en su mayoría lo realizan microorganismos (bacterias, hongos), en la que una parte del carbono es asimilado por ellos (incorporándose al material celular) y otra parte se libera como CO<sub>2</sub>.

En dicha transformación se produce energía y agua, según la reacción siguiente:



En ese proceso denominado mineralización de la materia orgánica algunos elementos que son nutrientes para las plantas son transformados de una forma orgánica no utilizable por la planta a una forma inorgánica asimilable. Ese es el caso del Nitrógeno (N), el Fósforo (P) y el Azufre (S).

El grado de descomposición de la materia orgánica está afectado por una serie de factores, entre ellos la temperatura, la humedad, aireación, el pH, el tipo de arcilla, la relación C/N, etc.

Para el caso de la relación C/N, cuando la misma es estrecha (cerca a 10) los residuos vegetales son más fáciles de descomponer por los microorganismos, que aquellos residuos con relación C/N amplia (superior a 30).

La descomposición de la materia orgánica se lleva a cabo a ratas más altas a medida que aumenta la temperatura hasta ciertos límites, por lo tanto el contenido de materia orgánica en suelos de zonas altas del trópico es mayor comparada con suelos de zonas más bajas.

La aireación y la humedad del suelo son dos factores que generalmente están asociados y afectan la descomposición de la materia orgánica. Cuando las condiciones son de baja disponibilidad de oxígeno (anaeróbica) el proceso de mineralización de la materia orgánica es menos eficiente, liberándose el carbono como metano (CH<sub>4</sub>) o como ácidos orgánicos (láctico, acético, butírico), pudiendo estos últimos

productos llegar a concentraciones tales que inhiben el posterior crecimiento de los microorganismos y en esta forma se detiene el proceso. Cuando existen condiciones de buena disponibilidad de oxígeno (aeróbica), el carbono que no es incorporado a las células de los microorganismos se libera como  $\text{CO}_2$ , siendo más rápido la descomposición de la materia orgánica.

Como se mencionó anteriormente la materia orgánica contribuye al suministro de forma disponibles de los elementos N, P y S como producto del proceso de mineralización.

El contenido del N total para la mayoría de los suelos agrícolas oscila entre 0.05 a 0.5% y está en forma orgánica. La fracción de N mineral o inorgánica es casi siempre mucho menor de 0.03% (300 ppm).

### ***Cationes Extraíbles (Al, Ca, Mg, etc.)***

Los cationes extraíbles del suelo son los denominados cationes o bases intercambiables que se encuentran adsorbidos en las partículas coloidales del suelo. Estas son el Calcio, el Magnesio, el Potasio, el Sodio y el Aluminio.

El Ca, el Mg y el K son nutrientes esenciales para las plantas, mientras que el Na, y el Al son perjudiciales en alta concentración. Otros cationes intercambiables aunque en mucho menor proporción con el  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Fe}^{+2}$  y el  $\text{Mn}^{+2}$ .

La capacidad de retención de ellos es:  $\text{Al} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} > \text{Na}$ .

El contenido de Ca, Mg y Al generalmente el laboratorio lo expresa como miliequivalente del Catión por 100 gr de suelo (meq/100 gramos de suelo). Actualmente esa unidad se expresa en centimoles (cmol) por kilogramo y se abrevia cmol.  $\text{kg}^{-1}$ . Como el centimol es diez veces mayor que el miliequivalente, se aumentó su peso del suelo a un kilogramo, y así un cmol.  $\text{kg}^{-1}$  es igual para los iones a un meq/100 gramos.

## ***Transformaciones de Nitrógeno***

El N del suelo en su gran mayoría se encuentra formando compuestos orgánicos. Solo de 5 al 10% de N total se encuentra en forma inorgánica como amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) o nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ). En cualquier de sus formas el N es el elemento más susceptible de transformación por la acción de microorganismos, las cuales ocurren simultáneamente y en diversos sentidos, dando lugar al denominado ciclo del nitrógeno, en el cual a veces hay aportaciones de N para el suelo, en otra hay pérdida y en otras simplemente hay cambio de N en un estado a otro.

Así tenemos que en un momento en el suelo por la acción microbiana el N del suelo es convertido de una forma orgánica o forma inorgánica mediante el proceso de mineralización y puede ocurrir simultáneamente que se presente una conversión de N inorgánico en orgánico por el proceso de inmovilización.

La conversión de N orgánico a N inorgánico ( $\text{NH}_4^+$ ) es llevada a cabo por microorganismos tanto aeróbicos como anaeróbicos.

Cuando la conversión se hace en condiciones aeróbicas el N orgánico transformado en  $\text{NH}_4^+$  es a su vez convertido en  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NO}_3^-$ . En condiciones anaeróbicas el producto final será solamente  $\text{NH}_4^+$ .

La transformación por la acción de microorganismo de la forma amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y posteriormente a nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) se denomina nitrificación.

La desnitrificación es el proceso microbiológico mediante el cual en nitrógeno en forma de  $\text{NO}_3^-$  o  $\text{NO}_2^-$  es transformado a forma gaseosa, principalmente  $\text{N}_2$  y  $\text{N}_2\text{O}$ , la cual se pierde al pasar del suelo a la atmósfera.

## ***Relación Carbono - Nitrógeno (C/N)***

La relación C/N es el resultado de dividir el % de C entre el % de N, la cual sirve para dar una idea de los diferentes procesos que están regulando el estado del nitrógeno en el suelo. Es un parámetro utilizando en la caracterización del Nitrógeno y sus relaciones con la materia orgánica del suelo. Los valores varían entre 8 y 14.

Una calificación de esa relación es la siguiente:

Relación C/N menor de 10: **BAJA**. Indicia una alta mineralización de N. Es propicia de clima cálido con suelos bien aireados. Indica la presencia de mayores cantidades de nitrógeno inorgánico.

Relación C/N de 10 a 12: **MEDIA**. Indica una mineralización "normal".

Relación C/N mayor de 12: **ALTA**. Indica que hay una mineralización lenta. En este caso el aporte de nutrimentos por la materia orgánica es poco eficiente.

### ***Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)***

La CIC es la capacidad del suelo para retener e intercambiar cationes en y desde las partículas coloidales del suelo con carga negativa. La CIC está asociada directamente con la textura, tipo de arcilla y el contenido de materia orgánica del suelo.

Para fines de cálculo se obtiene sumando el contenido de cationes intercambiables en el suelo (meq K + meq Ca + meq Mg + meq Al). Esta es la CIC efectiva del suelo (CICE).

ANEXO #A.

# CONDICIONES FISICO-QUIMICAS DE SUELOS DE APTOS PARA CAFE

ANEXO # 4

pH (Unidades)



Debe conservarse entre los valores 5 y 5.5 ± 0.1; por debajo de 4.5 puede aplicarse cal, pero no cuando el pH está por encima de 5.5.

Materia Orgánica (%)



A medida que baja de 12.0 ± 0.6 se obtiene mejor respuesta a aplicaciones de nitrógeno.

Fósforo (ppm)



Si se encuentran masos de 10 ± 4 debe aplicarse alguna fuente de fósforo.

K



Se obtiene respuesta a potasio con valores inferiores a 0.35 ± 0.06.

Bases (me/100 g)



No debe ser superior a 4.2 y si baja de 2.1 ± 0.5 debe encalarse el suelo pero teniendo en cuenta el balance con potasio y magnesio.

Mg



Valores inferiores a 0.7 ± 0.2 pueden ser deficientes pero antes de cualquier adición de fuentes de magnesio debe estudiarse su relación con el potasio y el calcio.

Aluminio (me/100 g)



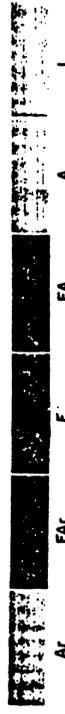
Valores superiores a 1.0 ± 0.1 pueden llegar a causar problemas nutricionales al café y se necesita encalar al suelo.

Suma de Bases (me/100 g)



El 70% de los suelos cafetaleros está con menos de 5, pero a mayores valores corresponde mayor fertilidad.

Textura



Las mejores condiciones físicas del suelo se encuentran en suelos franco (franco arcillosos, francos, franco arenosos, franco limosos).

Condición de Alerta



Condición Apta



Sin problema Aprente

90% de Probabilidad

Cenicafé

## ANEXO 5

### ALGUNAS EQUIVALENCIAS DE EXPRESIONES CUANTITATIVAS RELACIONADAS CON SUELOS, DE USO EN PUBLICACIONES CIENTIFICAS

---

1 meq/100 gramos = 1 cmol. kg<sup>-1</sup> (centimol por kilogramo)

1 % = 1 dag. kg<sup>-1</sup> (decagramo por kilogramo)

1 t/ha = 1 t.ha<sup>-1</sup> (toneladas por hectárea)

1 cmol/L = 1 cmol. L<sup>-1</sup> (centimol por litro)

1 m<sup>2</sup>/g = 1 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup> (metros cuadrados por gramo)

1 t/ha = 1 t.ha<sup>-1</sup> (toneladas por hectárea)

1 kg/ha = 1 kg.ha<sup>-1</sup> (kilogramos por hectárea)

1 meq/L = 1 meq.L<sup>-1</sup> (miligramos por litros)

1 t/ha/año = 1 t.ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> (toneladas por hectárea por año)

1 meq/kg = 1 mg.kg<sup>-1</sup> (miligramo por kilogramo)

---

## ANEXO #6

### INTERPRETACION DEL ANALISIS DE SUELO PARA CAFE

Los resultados del análisis químico de suelo del cafetal de la Sra. Gloria Sánchez se le puede dar una interpretación gráfica, de acuerdo a los rangos adecuados para café establecidos por Valencia y Carrillo, para las condiciones físico-químicas del suelo adecuadas para el café, según aparece en el anexo #4.

#### REPORTE E INTERPRETACION DEL ANALISIS DE SUELO PARA CAFE

RESULTADOS	RANGOS ADECUADOS	
pH 6.0	5.00	5.50
M. Org. 10.32%	11.4	12.6
P 1.5 ppm	6.0	14.0
K 0.31 meq/100 gr	0.30	0.40
Ca 8.26 meq/100 gr	1.8	2.4
Mg 1.20 meq/100 gr	0.6	0.8
Al trazas	0.	1.1
Bases 9.77 meq/100 gr	5.00	10.0
Textura Franco Arenoso	Francos	

**Comentarios:** El resultado de un análisis es satisfactorio si las barras horizontales están dentro del RANGO ADECUADO y la textura es franca.

## **ANEXO #7**

### **ANTAGONISMO ENTRE POTASIO Y MAGNESIO**

Tomando en cuenta que existe un antagonismo entre potasio y magnesio en lo que respecta a la nutrición por magnesio, la relación en que se encuentran estos cationes en el suelo constituye el mejor elemento de juicio para la interpretación de los datos de un análisis químico de suelo que emana de un laboratorio. Se ha demostrado que un contenido alto de potasio disponible induce deficiencia de magnesio.

Se estima que cuando la relación magnesio -potasio (mg/k) cae entre 1.5 y 2.1 existe una deficiencia débil de magnesio en las hojas del café y que cuando dicha relación sea menor de 1.5 hay riesgos de que ocurra una deficiencia muy severa. Dentro de los límites 2.1 y 3.7 constituye una buena condición para la absorción de Magnesio (Anexo #8).

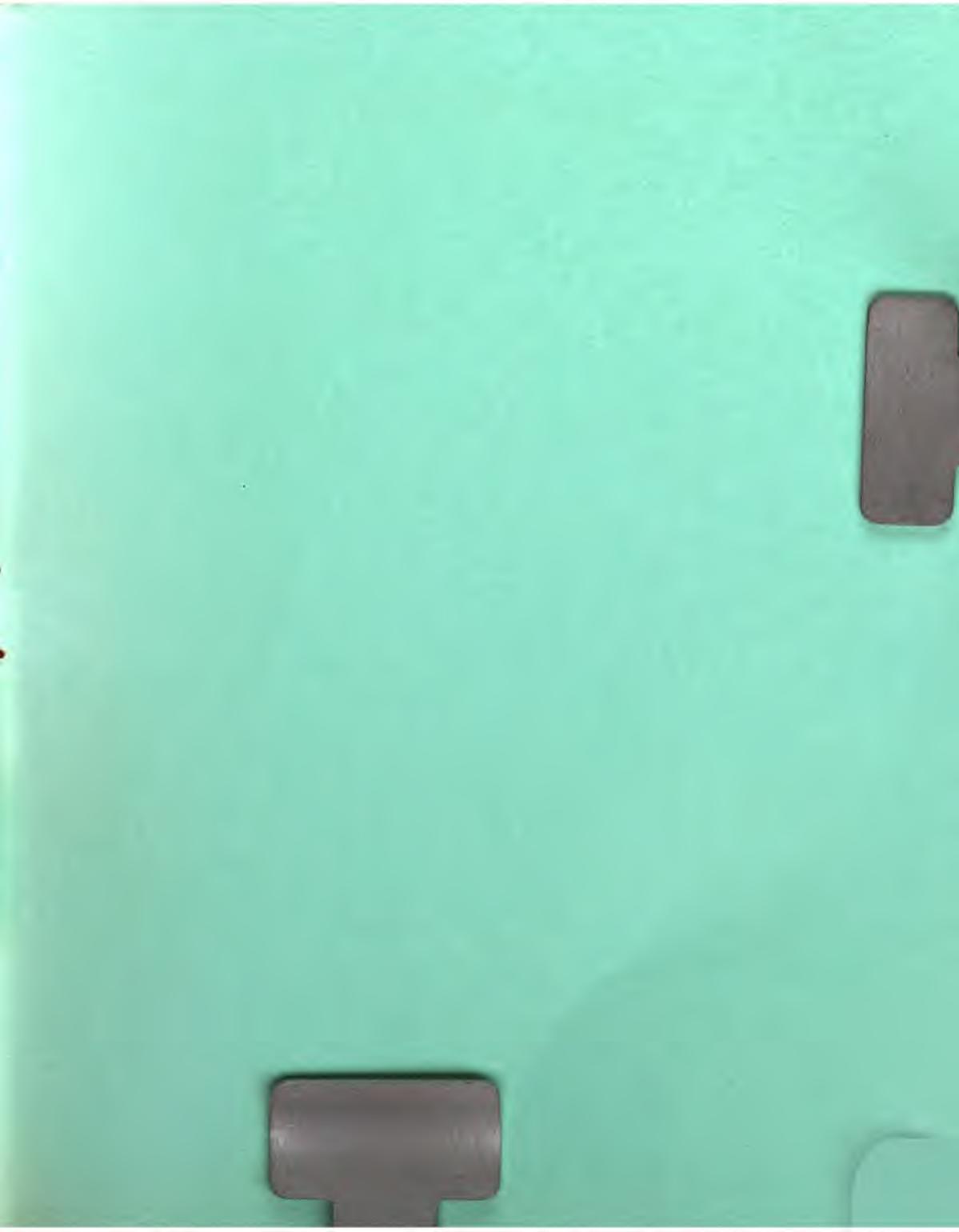
## ANEXO #8

### Equilibrio entre los metales alcalinos y alcalinotérreos como índice de fertilidad de suelos cafetaleros

Equilibrio	Magnitud Normal	Condición de desequilibrio			País
		Potasio		Magnesio	
		Insuficiente	En exceso	Insuficiente	
		En exceso	Insuficiente	En exceso	
Ca + Mg/K	10	> 10			Kenya <i>Mehlich, 1967 [102, 103]</i> Costa Rica <i>Briceño y Carvajal, 1973 [9]</i>
	9* ámbito 2.2 - 23.5	> 44			
Mg/K	2.1 - 3.7				República Dominicana <i>Forestier, 1968 [53]</i> Costa Rica <i>Briceño y Carvajal, 1973 [9]</i>
	3* ámbito 1-8	16.5 - 18			
Ca/Mg	2-4			> 4	Kenya <i>Mehlich, 1968 [103]</i>
Ca/K	6* ámbito 2-17	26.5 - 36			Costa Rica <i>Briceño y Carvajal, 1973 [9]</i>
100K/ Ca + Mg + K	2.1-11	2.5 - 2.1 ligera insuf. < 2.1 insuf. marcada		> 11	República Dominicana <i>Forestier, 1968 [53]</i>
	10* ámbito 4-29	< 25			Costa Rica <i>Briceño y Carvajal, 1973 [9]</i>
Mg/K*	Baja < 2.5	Óptima 2.5-15		Alta > 15	
Ca/Mg**	< 2	2-5		> 5	
Ca + Mg/K**	< 10	10-40		> 40	Costa Rica <i>Ramírez, 1980 [120]</i>
Ca/K**	< 5	5-25		> 25	

\* Valor en la mayoría de los suelos. Los suelos que caen dentro de cada "ámbito" indicado no manifiestan respuesta significativa a potasio.  
\*\* Valores de referencia.





1870  
1871  
1872  
1873  
1874  
1875  
1876  
1877  
1878  
1879  
1880  
1881  
1882  
1883  
1884  
1885  
1886  
1887  
1888  
1889  
1890  
1891  
1892  
1893  
1894  
1895  
1896  
1897  
1898  
1899  
1900