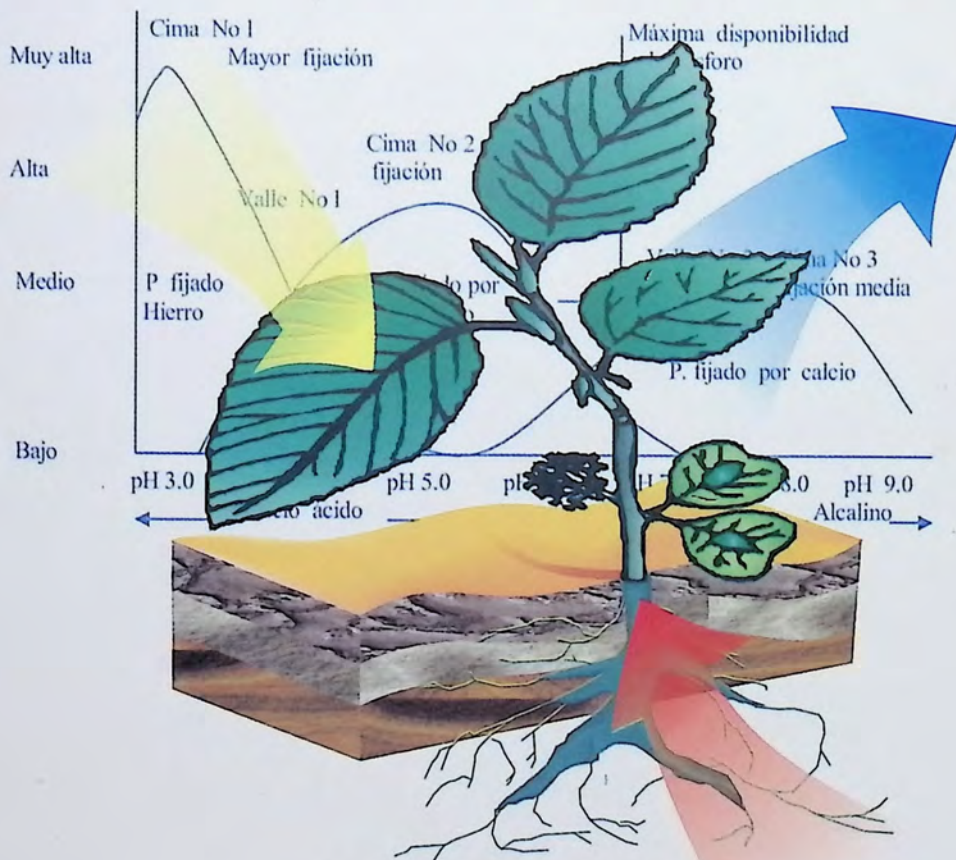


REYNALDO LOBATO PERTUZ

LAS PLANTAS, NUTRIENTES Y SUS DETERMINACIONES QUIMICAS



REYNALDO LOBATO PERTUZ

LAS PLANTAS, NUTRIENTES Y SUS DETERMINACIONES QUÍMICAS



FONDO DE PUBLICACIONES DE LA UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA

Reynaldo Lobato Pertuz
Las plantas, nutrientes y sus determinaciones químicas

© Reynaldo Lobato Pertuz
© Fondo Editorial Universidad del Magdalena

Santa Marta, Colombia

ISBN: 958-97023-7-6

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA

Carlos Eduardo Caicedo Omar
Rector

José Manuel Pacheco Ricaurte
Vicerrector Académico

Denise Rangel Lozano
Vicerrectora Administrativa y Financiera

Anselmo Rafael Marín Perea
Decano Facultad de Ingeniería de Recursos Naturales

Favio Silva Vallejo
Director Fondo Editorial

Miembro de la Asociación Colombiana
de Editoriales Universitarias

Queda totalmente prohibida la reproducción total o en parte de esta
obra sin el previo consentimiento de su autor.

Diseño Carátula
Luis Fernando Escobar Restrepo

Preprensa e impresión
Gente Nueva Editorial
Bogotá, D.C

PRIMERA EDICIÓN
Noviembre de 2002

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	11
I. EL SUELO Y LA PLANTA	13
1.1 Fracción de Arena y Limo	13
1.2 Fracción Arcilla	14
1.3 Fracción Orgánica	15
1.4 Fase líquida	15
1.5 Factores que afectan a la disponibilidad de un nutriente para la planta.....	16
1.5.1 Factores que afectan a la concentración de un nutriente en la solución del suelo	16
1.5.2 Movimientos de los nutrientes hasta la superficie de la raíz.....	20
1.5.3 Interceptación por las raíces	20
1.5.4 Flujo de masas	21
1.5.5 Difusión	21
1.6 Abastecimiento de la solución del suelo en nutriente.....	23
1.7 Factores que afectan a la facultad de la planta para absorber nutrientes.....	24
1.8 Significado de tales factores en el desarrollo e interpretación de los análisis de los suelos.....	24
II. TOMA DE MUESTRAS DE SUELOS EN CAMPOS EXPERIMENTALES Y FINCAS ESPAÑOLAS	29
2.1 El análisis de suelos	31
2.1.1 ¿Qué es una muestra representativa del suelo?	31
2.1.2 ¿Cuándo se deben tomar las muestras de suelos?	32

2.1.3 ¿Donde se deben tomar las muestras de suelo.....	32
2.1.4 Profundidad a la cual se debe tomar la muestra.	33
2.1.4.1 Como tomar una muestra de suelo.....	33
2.1.4.2 Como llenar las hojas de información sobre las muestras de suelos.....	34
2.1.4.3 Métodos empleados en la toma de muestras.....	35
2.1.4.4 Manejo de muestras en el laboratorio.	36
III. UNIDADES EMPLEADAS EN EL ANÁLISIS DE SUELOS	39
3.1 La calibración del análisis de suelos	40
3.2 La relación Ca/Mg	41
3.3 Valor de neutralización de los distintos materiales.	42
IV. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE SUELO.	43
4.1 Determinación del pH (reacción del suelo).	43
4.2 Determinación de la acidez intercambiable (Al+H)	44
4.3 Determinación entre Al ³⁺ y H ⁺ Intercambiable.	45
4.4 Calculo de la materia orgánica.....	46
4.5 Determinación del Fósforo.....	47
4.6 Determinación de bases intercambiables.	49
4.6.1 Método de calcio y magnesio por titulación con E.D.T.A. 0.01N: (Dietilenediaminatetra Acetato (E.D.T.A. - Versen))	50
4.6.2 Determinación de calcio más magnesio.	51
4.7 Determinación de la Capacidad de Intercambio Cationica (C.I.C.)	52
4.8 Determinación del azufre	54
4.8.1 Método turbidimétrico para la determinación de azufre. ..	54
4.9 Determinación de la conductividad eléctrica	56
4.10 Determinación de cobre, hierro, zinc, manganeso y boro.	59
4.11 Determinación de Boro (ppm)	62
4.12 Análisis físico-mecánico	63
V. FUNDAMENTO Y COMPONENTES DE LA RECOMENDACIÓN DE FERTILIZANTES	67
5.1 Principios generales y factores de recomendación.....	67

5.1.1 Componentes de la recomendación	68
5.1.2 Tipo y fuente de fertilizante	68
5.1.3 Epoca de la aplicación	69
5.1.4 Sistema de aplicación	69
5.2 Los nuevos objetivos de la recomendación de fertilizantes	70
5.2.1 Practica de la recomendación de fertilizantes	70
5.2.1.1 Necesidades de fertilizantes y factores que inciden.	70
5.2.2 Requerimiento nutricional de la planta	71
5.2.3 Potencial de producción del cultivo	71
VI. CUANTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES DE FERTILIZACIÓN (NF)	77
6.1 Ejemplo de calculo de las necesidades de fertilización	78
6.1.1 Cuantificación de la disponibilidad nutricional (S)	78
6.1.2 Cuantificación requerimiento nutricional del cultivo para su potencial de producción (Ppc)	79
6.1.3 Cuantificación eficiencia de la fertilización	80
6.1.4 Cuantificación de las necesidades por lixiviación	81
6.2 Recomendación de fuentes fertilizantes	82
6.3 Selección del grado de fertilizante y calculo de la cantidad a aplicarse	82
VII. SELECCIÓN Y CARACTERIZACION DE SITIOS PARA LA SIEMBRA DE FRUTALES ARBÓREOS.....	87
7.1 Recomendaciones generales para la fertilización de frutales arbóreos.....	89
7.1.1 Preparación del sitio de siembra.	89
7.2 Frutales establecidos	91
7.3 Análisis económicos de las recomendaciones de fertilizantes. ...	93
VIII. BIBLIOGRAFÍA	95

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.	(Según Schoen, 1953)	15
TABLA 2.	Efecto del pH sobre algunas reacciones del suelo (Corey, 1973)	18
TABLA 3.	Reacción Redox del suelo a pH = 7. (Corey, 1973).	19
TABLA 4.	Estimación de la cantidad de nutrientes aportados por cada mecanismo a las raíces del maíz en un suelo franco-arcilloso, fuertemente fertilizado de pH=6.8 (según Barber, 1966).	23
TABLA 5.	Probabilidad de respuesta de los cultivos a la fertilización, según el contenido de nutrimentos en el suelo.	41
TABLA 6.	Equivalente de CaCO ₃ en varios materiales de encalamiento.	42
TABLA 7.	Rango óptimo de pH en algunos cultivos	44
TABLA 8.	Estimativo de materia orgánica en los suelos.	47
TABLA 9.	Estimativo de carbono Orgánico en los suelos.	47
TABLA 10.	Relación Carbono Nitrógeno	47
TABLA 11.	Niveles de fósforo en el suelo.	49
TABLA 12.	Estimativo conceptual de las bases en el suelo.	52
TABLA 13.	Niveles de Capacidad de Intercambio Catiónico para los suelos.	54
TABLA 14.	Preparación de las soluciones para la curva patrón de S y concentración final.	56
TABLA 15.	Niveles de S en el suelo.	56
TABLA 16.	Interpretación de la conductividad eléctrica del extracto del suelo (mmhos/cm)	57
TABLA 17.	Cantidad de Yeso y Azufre para sustituir las cantidades de sodio intercambiable.	58
TABLA 18.	Reducción de la producción (%) a diferentes niveles de CE (mmhos/cm).	58
TABLA 19.	Tolerancia relativa de los cultivos al P.S.I. *	59
TABLA 20.	Cantidades requeridas de solución de 1000 ppm de micro nutrimentos y volúmenes de dilución para obtener las respectivas soluciones estándar.	61
TABLA 21.	Niveles críticos generales para elementos menores de acuerdo con la metodología del ICA	61

TABLA 22.	Requerimientos nutricionales de diferentes cultivos para alcanzar buenos rendimientos (Cereales-tuberculosas-hortalizas-leguminosas y pastos)	72
TABLA 23.	Requerimientos nutricionales de diferentes cultivos para alcanzar buenos rendimientos (Industriales-perennes)	73
TABLA 24.	Requerimientos relativos de elementos menores para diferentes cultivos A: Alto, M: Medio y B: Bajo	74
TABLA 25.	Requerimientos altos y medios para diferentes cultivos en Colombia bajo condiciones comerciales	75
TABLA 26.	Factores de conversión de PPM a MEQ/100g a Kg/Ha para diferentes valores de densidad aparente	76
TABLA 27.	Necesidades de fertilización y cantidad de nutrimento aplicado	85
TABLA 28.	Recomendaciones generales anuales dependientes según el estado de desarrollo del frutal.	91

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Diagrama general de la disponibilidad de un nutriente N.	25
Figura 2.	Esquema indicativo de cómo debe dividirse un campo para tomar muestras y el modo de recogerla para recoger la submuestra.	30
Figura 3.	Sitios de muestreo adecuados en loma, pendiente y valle	30
Figura 4.	Dimensiones y formas de los hoyos para trasplantes de frutales arbóreos	89
Figura 5.	Muestreo de suelos en frutales arbóreos establecidos.	92
Figura 6.	Métodos de aplicación de los fertilizantes.	92

INTRODUCCIÓN

Las plantas son organismos capaces de sintetizar, todas las sustancias necesarias para su crecimiento y desarrollo, si se les suministran 13 elementos minerales esenciales, dióxido de carbono y agua. Los nutrientes minerales son: nitrógeno, azufre, fósforo, magnesio, calcio, potasio, hierro, manganeso, cobre, zinc, molibdeno, boro y cloro.

Las funciones específicas y esenciales que cumplen estos nutrientes en el metabolismo vegetal se pueden agrupar en 4 categorías a saber:

1. Constitución de estructura orgánicas.
2. Activaciones de reacciones enzimáticas.
3. Almacenamiento y transferencia de energía.
4. Transporte de cargas y Osmorregulación.

Por su parte, el dióxido de carbono y el agua conforman los carbohidratos $(CH_2O)_n$, los cuales constituyen el esqueleto o estructura de las plantas y son una fuente de energía metabólica. Este grupo incluye ácido orgánico, azúcares simples y complejos y polímeros, tales como, almidón, celulosa y hemicelulosa. Los ácidos orgánicos son precursores de aminoácidos que al polimerizarse a través de enlaces péptidos forman la proteína. Las plantas también para su cuidado requieren que se le haga en sus tejidos y al suelo, análisis cuantitativo, para medir los niveles de cada uno de los nutrientes que hacen parte de su constitución. Sin embargo, existen en el proceso un conflicto entre las fases de cuantificación o medida, interpretación de resultados y recomendaciones, como resultado de la alta variabilidad que estos presentan.

Esta variabilidad, desventajosa para el intercambio y la difusión rápida de tecnología, se debe generalmente la diversidad de los métodos

que se usan en los análisis de suelo y plantas y a la diversidad de criterios técnicos que se aplican para interpretar los resultados y ofrecer recomendaciones.

INTRODUCCIÓN

Las plantas son organismos capaces de sintetizar todos los nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo. Sin embargo, algunos elementos esenciales como el nitrógeno, el fósforo, el potasio, el calcio, el magnesio, el zinc, el cobre, el hierro, el manganeso, el boro y el cloro, no pueden ser sintetizados por las plantas y deben ser absorbidos del suelo.

1. Constitución de estructuras orgánicas
2. Activaciones de reacciones enzimáticas
3. Almacenamiento y transferencia de energía
4. Transporte de iones y regulación

Por su parte, el dióxido de carbono y el agua constituyen los componentes (CO₂H₂O) los cuales constituyen el sustrato a partir del cual se sintetizan los azúcares, almidones, proteínas y otros compuestos orgánicos. Los nutrientes son necesarios para la síntesis de estos compuestos. Los nutrientes como el nitrógeno, el fósforo, el potasio, el calcio, el magnesio, el zinc, el cobre, el hierro, el manganeso, el boro y el cloro, son necesarios para la síntesis de estos compuestos. Los nutrientes como el nitrógeno, el fósforo, el potasio, el calcio, el magnesio, el zinc, el cobre, el hierro, el manganeso, el boro y el cloro, son necesarios para la síntesis de estos compuestos.

Esta variedad de nutrientes para el crecimiento y la nutrición de las plantas, se debe principalmente a la diversidad de los nutrientes

I. EL SUELO Y LA PLANTA

El suelo es un sistema muy complejo. En un volumen determinado de suelo existen tres fases: una sólida, otra líquida y otra gaseosa en estrecho equilibrio. La fase sólida puede ser mineral u orgánica. La porción mineral está compuesta de partículas de composición, formas y tamaños muy diversos. La fracción orgánica abarca desde organismos en estados de descomposición.

La fase sólida, que es la que predomina, está rodeada de películas acuosas que forman la fase líquida. La fase gaseosa ocupa aquella parte del espacio de poros entre las partículas de suelo que no están llenas de agua. Las interrelaciones físicas y químicas entre las tres fases están afectadas, además de sus respectivas propiedades, por la temperatura, presión y luz. Las partículas de la fase sólida varían en sus dimensiones desde los límites inferiores del estado coloidal hasta las fracciones más gruesas de arenas y gravas. La Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo (ISSS) clasifica la fase sólida según el tamaño como sigue:

Arcilla: partículas de menos de 0.002 mm.

Limo: partículas mayores de 0.002 mm y menores de 0.02 mm.

Arena fina: las de un tamaño comprendido entre 0.02 mm y 0.2 mm.

Arena gruesa: las que siendo mayores a 0.2 mm no superen los 2mm.

1.1 FRACCIÓN DE ARENA Y LIMO

Estas fracciones contienen minerales primarios que tienen un indudable interés en el proceso de intemperización y formación de suelo. Algunos tienen efecto directo sobre la naturaleza mineralógica de la arcilla formada durante el proceso de intemperismo. La mayor parte de los

minerales de estas fracciones están compuestos de cuarzo feldespatos primarios y micas. Si el material primario es mica, la arcilla de ese suelo será montmorillonita, según la secuencia: Mica-Illita-vermiculita-Montmorillonita, mientras que los basaltos volcánicos originan Alófana y Guibsite.

1.2 FRACCIÓN ARCILLA

Desde el punto de vista de la nutrición de la planta es la más interesante de la fase sólida. Las arcillas son minerales cristalinos constituidos por átomos ordenados, en el espacio, de silicio, aluminio, hierro, magnesio, oxígeno y grupos oxidrilos.

Dentro de estos cristales pueden haber sustituciones de unos átomos por otros. Así, el aluminio puede sustituir al silicio. El magnesio y el hierro sustituyen a átomos de aluminio, que se encuentran más en la superficie del mismo. Estas cargas son equilibradas por cationes que se llaman de "cambio" y son de gran importancia en la nutrición de las plantas.

La cantidad de cationes absorbidos por la arcilla recibe el nombre de "capacidad de cambio catiónico". En principio cuanto más arcilloso sea un suelo mayor capacidad de intercambio tendrá. Dentro de las arcillas no todas poseen la misma capacidad de cambio, pudiéndose establecer la siguiente secuencia:

Vermiculita > Montmorillonita > Illita > Caolinitas.

Sin embargo, en la naturaleza los cristales de arcilla frecuentemente están rotos. Si en el sitio donde se produjo la rotura había acumulación de cargas positivas estas serán equilibradas por aniones. Por eso podemos hablar de "capacidad de cambio aniónico". Desde el punto de vista cuantitativo esta tiene lugar en proporción mucho menor que la catiónica. La capacidad de cambio depende, al menos en parte, del pH del suelo. Las arcillas que poseen gran capacidad de intercambio de cationes presentan absorción de aniones a valores muy bajos de pH (tabla 1).

Los principales cationes de cambio, importantes para la nutrición de la planta son: Ca, Mg, K, Na, NH_4^+ y algunos micro elementos. Los

aniones son cloruros, sulfatos y fosfatos. Los dos primeros solo son fijados a valores muy bajo de pH, careciendo de interés práctico. En cambio los aniones fosfatos son absorbidos fuertemente, incluso a valores de pH, o encima de la neutralidad. Ocurre que el fosfato forma compuestos insolubles con el calcio, hierro y aluminio por lo que resulta muy difícil distinguir los efectos del verdadero intercambio de la precipitación química.

TABLA No. 1
(SEGÚN SCHOEN, 1953)

Mineral	Capacidad de intercambio catiónico (me/100 g)	Capacidad de intercambio aniónico (me/100 g)	PH de equilibrio
Montmorrillonita	87	13	2.4
Bentonita	62	15	3.1
Illita	21	9	4.5
Caolinita	27	43	4.7
Halloysita	4	7.7	4.3

1.3 FRACCIÓN ORGÁNICA

También la fracción orgánica, principalmente la muy descompuesta y, por lo tanto, estable, que recibe el nombre de ácido húmico, posee esta característica de intercambio catiónico. No podemos explicar aquí con detalle toda la mecánica de este intercambio, basta decir que la materia orgánica al descomponerse, da lugar a radicales ácidos y fenólicos que, como tales, pueden ser neutralizados por cationes.

1.4 FASE LÍQUIDA

El agua del suelo rodea a la fase sólida. Por tanto, su composición dependerá de la de aquella. Si la fase sólida es rica en un determinado elemento, parte de este pasará a la fase líquida. Las plantas se alimentan principalmente de la fase líquida, aunque se admite que también lo pueden hacer directamente de la fase sólida.

Así cuando la planta absorbe un determinado nutriente de la fase líquida, la fase sólida tiende a restituir el equilibrio, "Librando" este

nutriente de nuevo a la fase líquida. Por el contrario, cuando se enriquece la solución del suelo por causa de un abonado, parte de éste queda fijado en la fase sólida.

Los minerales primarios y la materia orgánica, van liberando nutrientes que pasan a poder ser asimilables por la planta y también entran en el complejo equilibrio antes indicado.

Desde un punto de vista cuantitativo hay muchísimos más nutrientes en la fase sólida que en la líquida. Sobre la base de lo anterior hay dos tipos de análisis de suelo:

1. La medida de la concentración de un nutriente en la fase sólida o factor capacidad.
2. La medida de la concentración de un nutriente en la solución del suelo o factor intensidad.

1.5 FACTORES QUE AFECTAN A LA DISPONIBILIDAD DE UN NUTRIENTE PARA LA PLANTA

El que un nutriente sea asimilable para la planta depende tanto de los factores que afectan a la facultad del suelo para abastecer a la planta, como a los de la planta para aprovisionarse de ese nutriente.

Para diseñar un procedimiento de análisis que mida la parte de un nutriente que es asimilable será necesario conocer las reacciones que éste puede sufrir en el suelo. Por ello, en la primera parte se discutirá brevemente los factores responsables de mantener un adecuado aporte de nutrientes en la superficie de la raíz. En la segunda se verán los que afectan a la facultad de la planta para absorber los nutrientes presentes en esa misma superficie radicular.

1.5.1 FACTORES QUE AFECTAN A LA CONCENTRACIÓN DE UN NUTRIENTE EN LA SOLUCIÓN DEL SUELO

Como ya se ha indicado, los nutrientes de la solución del suelo provienen de muchas fuentes, tales como disolución de los materiales primarios, descomposición de la materia orgánica, aplicación de fertilizantes

etc. Una vez que están en solución, un nutriente puede sufrir muchas y variadas reacciones.

Los aniones nitratos y cloruros son muy solubles y no forman compuestos insolubles en el suelo, permaneciendo en solución hasta que son absorbidos por las plantas y microorganismos, o bien son lavados. El sulfato actúa en forma similar en suelos neutros o alcalinos, pero tiende a ser absorbido en suelos ácidos.

La mayoría de los demás nutrientes forman compuestos más o menos insolubles, tendientes a mantener una concentración de equilibrio en la solución del suelo. De esta forma los nutrientes de la solución del suelo están equilibrados con los absorbidos en el complejo de cambio. Cationes como el cobre y zinc, que son ácidos que forman complejo con la materia orgánica del suelo: el hierro y el aluminio forman hidróxidos y óxidos insolubles; el fósforo forma fosfatos de hierro, aluminio y calcio no solubles, etc.

El pH del suelo es un factor determinante en la solubilidad de estos elementos (tabla 2). La solubilidad de los hidróxidos de hierro y aluminio dependen de los grupos OH y decrece cuando el pH aumenta. El catión H compite directamente con otros ácidos para ocupar lugares de complejamiento y por ello la solubilidad del zinc y el cobre aumentan cuando el pH baja.

La concentración de iones H determina la capacidad de cambio dependiendo del pH, también, la capacidad de cambio de aniones, por ello afecta, en alguna extensión la concentración de todos los cationes y aniones cambiables.

Los aniones molibdato y sulfato absorbidos al complejo de cambio así como el fósforo ligado al hierro y al aluminio, incrementa su solubilidad cuando sube el pH.

Además el pH controla la solubilidad de los carbonatos y silicatos, por lo que se afectan algunas reacciones redox, influye sobre la actividad de algunos microorganismos y determina la forma química en la que existe el carbonato y el fosfato en la disolución del suelo.

Otro factor determinante de la concentración de un nutriente en la solución del suelo el potencial redox. Este factor guarda relación con la

TABLA No. 2

EFFECTO DEL pH SOBRE ALGUNAS REACCIONES DEL SUELO (COREY, 1973)

1. Oxidos e hidróxidos	$XAl + 3XOH \Leftrightarrow Al_2OH_{3X-Y}^Y + YOH \Leftrightarrow Al(OH)_2$ $Fe^3 + 3XOH \Leftrightarrow Fe_xOH_{(3X-Y)}^Y + YOH \Leftrightarrow Fe(OH)_3 \Leftrightarrow \frac{1}{2}XFe_2O_3 + 3XH_2O$									
2. Carbonatos	$CO_3Ca + 2H^+ \Leftrightarrow (Ca^{2+} + CO_2 + H_2O)$									
3. Complejos	<p>Complejo - $Cu + 8H^+ \Leftrightarrow Cu^{2+} + \text{complejo} - H_2$</p> $PO_4H_2Fe(OH)_2 + OH \Leftrightarrow Fe(OH)_2 + H_2PO_4$									
4. Fosfato, molibdatos y sulfatos unidos al hierro	$(PO_4)_6Ca(OH)_2 + 14H \Leftrightarrow 10Ca^{2+} + 6H_2PO_4 + 2H_2$									
5. Silicatos	<p>El efecto es variable dependiendo de su composición:</p> $SiO_4Mg_2 + 4H^+ \Leftrightarrow Si(OH)_4 + 2Mg^{2+}$ $SiO_2 + H_2O + OH \Leftrightarrow SiO(OH)_3$									
6. Capacidad de cambio (dependiendo del pH)	$MX + H^+ \Leftrightarrow M^+ + HX$									
7. Lugares de intercambio en las arcillas	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 30%; text-align: center;">Si</td> <td style="width: 30%; text-align: center;">Si</td> <td style="width: 40%;"></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">$OH + H \Leftrightarrow$</td> <td style="text-align: center;">$OH_3 + Al-OH_3 + H \Leftrightarrow Al-OH_2$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Al</td> <td style="text-align: center;">Al</td> <td></td> </tr> </table>	Si	Si			$OH + H \Leftrightarrow$	$OH_3 + Al-OH_3 + H \Leftrightarrow Al-OH_2$	Al	Al	
Si	Si									
	$OH + H \Leftrightarrow$	$OH_3 + Al-OH_3 + H \Leftrightarrow Al-OH_2$								
Al	Al									
8. Sistema Redox	$Mn^{2+} + H_2O + O_2 \Leftrightarrow 2H^+ + MnO_2$ $2Fe^{+2} + 5H_2O + O_2 \Leftrightarrow 4H^+ + 2Fe(OH)_3$ $5H_2 + 2O_2 \Leftrightarrow 2H^+ + SO_4$ $NH_4^+ + 2O_2 \Leftrightarrow 2H^+ + NO_3 + H_2O$									
9. Iones en solución	$PO_4H_2 + H^+ \Leftrightarrow PO_4H$ $CO_3H_2 \Leftrightarrow CO_3H + H^+ \Leftrightarrow CO_3^{2-} + 2H^+$ $Cu^{2+} + OH \Leftrightarrow CuOH^+$									

aireación del suelo, el cual a su vez depende de la respiración microbiana y la velocidad de difusión del oxígeno.

Afecta a aquellos elementos que en el rango normal, de potenciales redox de los suelos, pueden existir en más de un estado de oxidación. Tales elementos son: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre, hierro, manganeso y cobre. El agua del suelo influye en forma muy directa ya que la difusión del oxígeno es mucho menor que si están llenos de aire. Tabla 2.

Estas reacciones están recopiladas en la tabla 3 para un pH de 7.

Estas tablas indican que un suelo originalmente bien aireado y que se vuelve progresivamente más reducido (por ejemplo, por encharcamiento) pueden ocurrir las siguientes reacciones:

1. Desnitrificación: como una combinación de 1 y 4.
2. Reducción del MnO_2 a Mn^{2+} (reacción 5).
3. Reducción de Cu^{2+} a Cu^2 (reacción 7).
4. Reducción de óxidos de Fe^{3+} a Fe^{2+} (reacción 8).
5. Reducción del SO_4^{2-} a SH_2 (reacción).
6. Producción de CH_4 (reacción 10).
7. Producción de H_2 límite inferior de estabilidad del agua (reacción 12).

Algunas reacciones muestran el límite superior de la estabilidad del agua (reacción 2); oxidaciones de hierro (reacción 3); proceso de nitrificación (reacción 6 y 4), y fijación de nitrógeno (reacción 11).

Reacciones tales como la reducción del óxido de manganeso y desnitrificación ocurre en suelos húmedos pero todavía insaturados. Así el arroz se aprovecha del fósforo liberado, cuando se reducen los óxidos férricos y liberan el hierro.

TABLA No. 3
REACCIÓN REDOX DEL SUELO A pH = 7. (COREY, 1973).

Reacción No.	Eh	Reacción
1	968	$2NO_3^- + 8H^+ + 6e \leftrightarrow N_2 + 4H_2O$
2	815	$O_2 + 4H^+ + 4e \leftrightarrow 2H_2O$
3	771	$Fe^{3+} + e \leftrightarrow Fe^{2+}$
4	421	$NO_3^- + 2H^+ + 2e \leftrightarrow N_2^- + H_2O$
5	401	$MnO_2 + 4H^+ + 2e \leftrightarrow NH_4^- + 2H_2O$
6	345	$NO_2^- + 8H^+ + 2e \leftrightarrow NH_4^+ + 2H_2O$
7	-153	$Cu^{2+} + e \leftrightarrow Cu^{2+}$
8	-185	$Fe(OH)_3 + 3H^+ + e \leftrightarrow Fe^{2+} + 3H_2O$
9	-214	$SO_4^{2-} + 10H^+ + 8e \leftrightarrow SH_2 + 4H_2O$
10	-245	$CO_3 + 8H^+ + 8e \leftrightarrow CH_4 + 2H_2O$
11	-278	$N_2 + 8H^+ + 6e \leftrightarrow 2NH_4^+$
12	-414	$2H^+ + 2e \leftrightarrow H_2$

Los potenciales de la tabla 3 solo describen lo que es termodinámicamente posible. Las reacciones, sin embargo, dependen más de los sistemas enzimáticos de los microorganismos. De todas formas, los efectos del Potencial Redox sobre la composición de la solución del suelo, resultan obvios.

Otros factores como la temperatura y la fuerza iónica de la solución pueden afectar también a las reacciones que controlan la concentración de los nutrientes en la solución del suelo, pero sus efectos comparados con los del pH y potenciales Redox son relativamente pequeños.

1.5.2 MOVIMIENTOS DE LOS NUTRIENTES HASTA LA SUPERFICIE DE LA RAÍZ

Un nutriente puede estar colocado justo al lado de la raíz o en un espacio algo distante. Dado la movilidad de las raíces de las plantas, de alguna forma, el nutriente debe llegar al alcance de aquellas. Discutiremos brevemente los mecanismos por los cuales un nutriente puede ser puesto en contacto con las raíces.

1.5.3 INTERCEPTACIÓN POR LAS RAÍCES

Ya que las raíces proliferan en el suelo, ocuparán espacios contiguos a los nutrientes y éstos podrán ser absorbidos sin ningún tipo de movimiento. Una estimación de la posible contribución de la interceptación de nutrientes por las raíces se puede lograr sobre la base de las siguientes suposiciones:

- Se obtiene la máxima cantidad de nutriente interceptados por las raíces si suponemos que en toda la superficie de contacto raíz suelo los nutrientes están en forma asimilable.
- Las raíces ocupan un 2% del volumen poroso total del suelo.

Con estas suposiciones se han elaborado los datos de la tabla 4, obtenidos por Barber para un suelo fértil. El único elemento que puede ser satisfecho totalmente por este mecanismo es el Calcio, aunque este proceso proveerá una parte las necesidades de magnesio, manganeso y zinc.

Aunque las suposiciones efectuadas no son del todo válidas, es evidente que la planta absorberá más nutriente por este mecanismo, cuan-

to mayor sistema radicular posea y cuanto mayor sea la concentración de nutrientes asimilados del suelo.

1.5.4 FLUJO DE MASAS

El agua del suelo esta en continuo movimiento y lleva nutrientes disueltos. Cuando la planta absorba agua para reemplazar a la pérdida por transpiración, se producirá también un flujo de nutrientes. El porcentaje de nutrientes que pueden ser satisfecho por este mecanismo depende de:

- Las necesidades de la planta por este nutriente.
- La concentración del mismo en la solución del suelo.
- Cantidad de agua transpirada por unidad de peso de tejido.
- El volumen efectivo de agua en circulación que entra en contacto con la superficie de la raíz, en respuesta al gradiente de potencial de agua.

La contribución del 4to punto es difícil de determinar, por eso, para estimar la contribución de la planta se hace uso de la concentración del nutriente en la solución del suelo y de la cantidad de agua transpirada.

Así se obtuvieron los datos de la tabla 4, resultando evidente que este mecanismo puede ser el principal contribuyente para la asimilación del calcio, magnesio, zinc, cobre, boro y hierro.

1.5.5 DIFUSIÓN

En la tabla 4 queda presente que las necesidades de fósforo y potasio no se cubren con los mecanismos anteriores, por eso se recurre al proceso de la difusión.

La ecuación que nos da la cantidad de nutrientes que se difunde en un tiempo determinado hacia la superficie de la raíz es:

$$dq/dt = DAP(C_1 - C_2)/L$$

En donde:

- Dq/dt = Es la cantidad de nutriente que se difunde en un instante dado.
- D = Es el coeficiente de difusión del nutriente en el agua.
- A = Es la sección total absorbente de las raíces.
- P = Es la fracción del volumen de suelo ocupado por el agua (e incluye también un factor de tortuosidad).
- C_1 = Concentración de un nutriente en el agua del suelo a una distancia L de la raíz.
- C_2 = Concentración del mismo nutriente en la superficie de la raíz.
- L = La distancia desde la superficie de la raíz hasta donde se mide la concentración C_1 .

1. El factor P la fracción del volumen total del suelo que tiene agua. La velocidad de difusión dependerá del contenido de agua del suelo. Para una misma concentración aparente de la solución del suelo, en una de textura fina deberemos esperar una difusión más rápida que otro de textura arenosa, ello es debido a que el primero tiene una mayor capacidad de retención de agua para potenciales equivalentes.
2. La magnitud del gradiente de concentración $(C_1-C_2)/L$. Para una L constante, la velocidad de difusión será mayor cuanto más lo sean la diferencia de concentraciones (caso de abonos localizados). Así la facilidad de las plantas de absorber nutrientes por este mecanismo disminuye para bajar concentraciones de la solución del suelo. También se afectará por la presencia de un factor de capacidad (cationes de cambios, por ejemplo) en equilibrio con la forma soluble, ya que tenderá a mantener una alta concentración cerca de la raíz.
3. El factor A . Extremadamente importante, representa la superficie de raíz apta para la absorción. Igual cantidad de nutrientes podrá absorberse, a una baja velocidad, por unidad de área de superficie de raíz, si esta es mayor.

Por ello, la extensión del sistema radicular es un factor que afecta en gran manera a la alimentación de la planta por difusión.

Todos estos factores han de tenerse en consideración cuando se diseñan técnicas de muestreo y cuando se interpretan análisis de diferentes suelos.

TABLA No. 4

ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE NUTRIENTES APORTADOS POR CADA MECANISMO A LAS RAÍCES DEL MAÍZ EN UN SUELO FRANCO-ARCILLOSO, FUERTEMENTE FERTILIZADO DE PH=6.8 (SEGÚN BARBER, 1966).

Nutrientes	Total asimilado por las raíces (Kg/ha)	Cantidad aportada por		
		Interceptación por raíces (Kg/ha)	Flujo de Masa (Kg/ha)	Difusión (*) (Kg/ha)
Ca	23	60	175	-
Mg	28	16	105	-
K	135	4	35	96
P	39	1	2	36
Mn	0.23	0.10	0.05	0.08
Zn	0.23	0.10	0.53	-
Cu	0.16	0.01	0.35	-
B	0.07	0.02	0.70	-
Fe	0.80	0.10	0.53	0.17

* La difusión esta calculada por la diferencia entre las necesidades nutritivas de la planta y la suma de otros dos mecanismos.

1.6 ABASTECIMIENTO DE LA SOLUCIÓN DEL SUELO EN NUTRIENTE

Cuando un nutriente es eliminado por la planta de la solución del suelo, éste tiende a reemplazarlo a partir de la fase sólida.

La concentración de un nutriente en la solución del suelo se denomina normalmente factor intensidad y los recursos de la fase sólida para reequilibrar la solución se denomina factores de capacidad. El factor capacidad se puede dividir de formas arbitrarias en tres categorías:

1. Aquellas formas que son puestas rápidamente en equilibrio con la solución del suelo.
2. Aquellas otras que lo son en forma más lenta.
3. Las que no están en equilibrio con la solución del suelo ya que no existe la reacción reversible (los nutrientes son liberados pero no absorbidos).

Ejemplo de las primeras formas son el potasio fijado y el fósforo que se ha difundido hacia el interior de los agregados pero que todavía puede retornar a la superficie de éstos, de una manera muy lenta, si el gradiente de actividad le fuese favorable.

Ejemplo de formas no en equilibrio o sin posibilidad de reabsorción en la descomposición de la materia orgánica, minerales etc.

1.7 FACTORES QUE AFECTAN A LA FACULTAD DE LA PLANTA PARA ABSORBER NUTRIENTES

Los más importantes son:

1. La concentración de oxígeno en la atmósfera del suelo; la energía requerida para la nutrición se genera durante el proceso de respiración de las raíces. Así una aireación pobre, además de afectar el estado de oxidación, inhibe la absorción de nutriente.
2. Temperatura del suelo: la absorción se relaciona con la actividad metabólica la cual a su vez depende de la temperatura. Así en tiempo frío se requieren mayores aportes de fertilizantes, en tiempo caluroso, para obtener una misma respuesta. Esto es particularmente cierto en el caso del fósforo.
3. Reacciones antagónicas: se sabe que existen antagonismos entre muchos iones, aunque el mecanismo de ellos no ha sido todavía suficientemente estudiado. Por ello, la solución del suelo debe de tener un adecuado balance de todos los constituyentes.
4. Sustancias tóxicas: algunas sustancias pueden interferir en los procesos metabólicos de la planta. Tal es el caso de altas concentraciones de manganeso y aluminio en suelos ácidos, de las sales solubles y de algunos microelementos, en especial el boro.

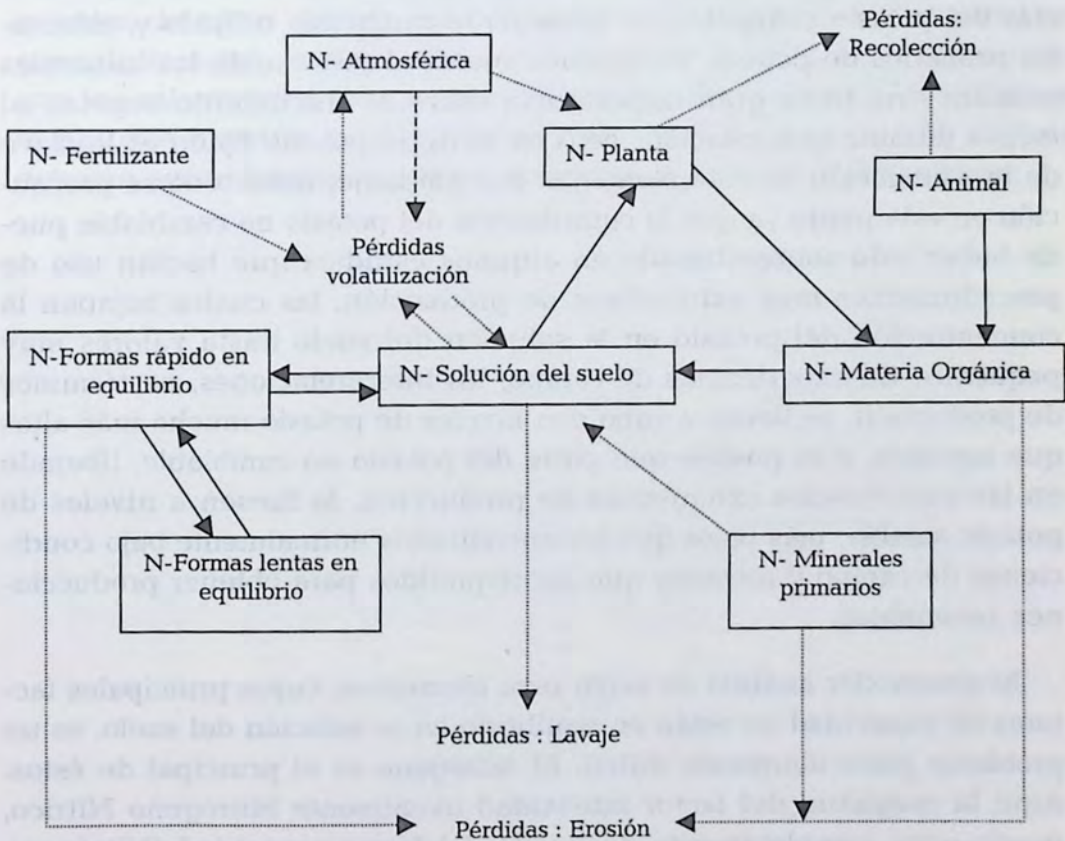
1.8 SIGNIFICADO DE TALES FACTORES EN EL DESARROLLO E INTERPRETACIÓN DE LOS ANÁLISIS DE LOS SUELOS

En la figura 1 se presenta un diagrama general de un nutriente cuyo propósito es visualizar las distintas entradas y salidas del mismo, en la

solución del suelo. El conocimiento de la magnitud relativa de entradas y salidas de un nutriente determinado, y, la variabilidad durante el periodo de crecimiento, ayudaría a desarrollar el análisis de este nutriente.

Por ejemplo surge siempre la cuestión de si es mejor analizar el factor intensidad o el factor capacidad. En teoría, el uso del factor intensidad (Concentración del nutriente en la solución del suelo) es más deseable sobre todo si el factor capacidad es suficiente para mantener la concentración de la solución del suelo durante toda la estación de crecimiento. Esta condición se cumple normalmente en el caso del fósforo, calcio y magnesio pero no siempre en la del potasio.

FIGURA No. 1
DIAGRAMA GENERAL DE LA DISPONIBILIDAD DE UN NUTRIENTE N.



Las líneas punteadas representan posibles aportes. Las líneas de trazo posible pérdidas. Las líneas continuas, la redistribución en el sistema suelo-planta-animal.

En los casos en donde se han comparado diversas técnicas de análisis para fósforo, la fracción soluble en agua ha sido la mejor correlacionada con la respuesta de la plantación. La principal objeción para adoptar, de rutina, este método ha sido las bajas concentraciones de fósforo presentes en la solución del suelo, lo cual lleva consigo dificultades analíticas y magnífica los efectos de contaminación.

Es posible que, en algunas situaciones, el factor capacidad puede disminuir a lo largo de una estación de crecimiento, por lo que la medida de este factor, unido o en lugar de la intensidad, puede ser necesario.

Cuando se utiliza la valoración del factor de capacidad, los problemas de interpretación son mayores, puesto que las relaciones entre ambos factores son distintos para distintos suelos. También es un problema el poder determinar exactamente que el factor capacidad incluye, además del potasio cambiante, el lentamente cambiante o fijado y, minerales primarios de potasa. En muchos suelos el potasio, de los minerales primarios no tiene gran importancia sobre el crecimiento vegetal, al menos durante una estación; pero en otros, el potasio fijado es la clave de la asimilación de este elemento. Sin embargo, debe tenerse precaución en este punto ya que la contribución del potasio no cambiante puede haber sido sobreestimado en algunos estudios que hacían uso de procedimientos muy exhaustivos de producción, las cuales bajaban la concentración del potasio en la solución del suelo hasta valores muy pequeños. En experiencias de campo, las interpretaciones, en términos de producción, se llevan a cabo con niveles de potasio mucho más altos que aquellos, y es posible que parte del potasio no cambiante, liberado en las experiencias exhaustivas de producción, lo fuesen a niveles de potasio soluble, más bajos que los encontrados normalmente bajo condiciones de campo y menores que los requeridos para obtener producciones razonables.

El desarrollar análisis de suelo para elementos, cuyos principales factores de capacidad no están en equilibrio en la solución del suelo, es un problema particularmente difícil. El nitrógeno es el principal de éstos. Aquí la magnitud del factor intensidad usualmente Nitrógeno Nítrico, puede estar completamente desligado del factor capacidad (Nitrógeno Orgánico), amenos que se posea algún método para averiguar la velocidad de nitrificación en ese suelo y para esa temporada. Por todo ello, el

análisis del ion nitrato está restringido a suelos que están bien aireados y donde el livaje no es gran problema. Los análisis basados en la determinación del nitrógeno total o la materia orgánica suelen dar débiles predicciones, ya que hay otros muchos factores que afectan a la nitrificación. Si bien los métodos de incubación dan alguna luz al respecto, sin embargo no alcanzan a resolver todas las incógnitas.

El fósforo es otro nutriente que se libera en la oxidación de la materia orgánica. Sin embargo, no se ha podido correlacionar la asimilación del fósforo, con el análisis de fósforo orgánico e inorgánico.

Aunque esta discusión ha sido muy superficial, si que ha quedado evidenciada la importancia del conocimiento de los diversos factores que afectan la disponibilidad de los nutrientes. A pesar de ello hay que tener en cuenta que el sistema suelo es muy complejo y nuestros conocimientos de cómo operan estos factores, especialmente en los aspectos cuantitativos son, todavía, bastante estrechos. Por ello, debemos esperar que los valores predichos, a partir de los análisis de suelos, aumentan a la par que nuestros conocimientos y entonces los métodos de análisis deberán ser rediseñados y reinterpretados a la luz de tales avances.

II. TOMA DE MUESTRAS DE SUELOS EN CAMPOS EXPERIMENTALES Y FINCAS ESPAÑOLAS

Una parcela experimental debe tener un suelo homogéneo, desgraciadamente, esta es una utopía, y en la practica debe de contentarse con algo que se acerque a este ideal. La localización, toma de muestras y análisis para decidir si un suelo es suficientemente homogéneo para establecer en el campo de experimentación debe realizarse con gran cuidado. La unidad de área más pequeña que deben elegirse para ensayar la uniformidad debe ser la parcela que se piensa utilizar después en las experiencias. Se debe tomar una muestra compuesta en ella (12 submuestras) y a continuación otra igual repetida.

La diferencia entre ambas muestras compuestas permite calcular las variaciones de la propiedad del suelo en esa parcela. Se debe tomar también una muestra compuesta de cada parcela y ver de este modo si las variaciones con respecto a la media de todo el campo son significativas. Esto puede servir de base para rechazar aquellas parcelas que den más variabilidad de la deseada. Además se hacen sondeos a 15 o 20 cm de profundidad, puede merecer la pena tomar calicatas de subsuelo para encontrar diferencia en textura, propiedades químicas, etc, en todo el perfil. Esto debe realizarse siempre que el sistema radicular de la especie plantada o que se piense establecer lo requerirá.

En un campo experimental ya establecido, la toma de muestras, para medir propiedades del suelo que afectan la producción, debe realizarse siempre basándose en muestras compuestas e incluir una por cada parcela que haya recibido tratamiento distinto. La toma adecuada de las muestras de suelos para sus análisis, tiene tanta importancia como la exactitud de las determinaciones del laboratorio o el criterio de interpretación de resultados. Por consiguiente, es necesario que las personas

realicen esta tarea se ajusten a las instrucciones que para tal efecto se aconsejan, con el objeto de obtener una información más exacta.

FIGURA No. 2

ESQUEMA INDICATIVO DE CÓMO DEBE DIVIDIRSE UN CAMPO PARA TOMAR MUESTRAS Y EL MODO DE RECOGERLA PARA RECOGER LA SUBMUESTRA

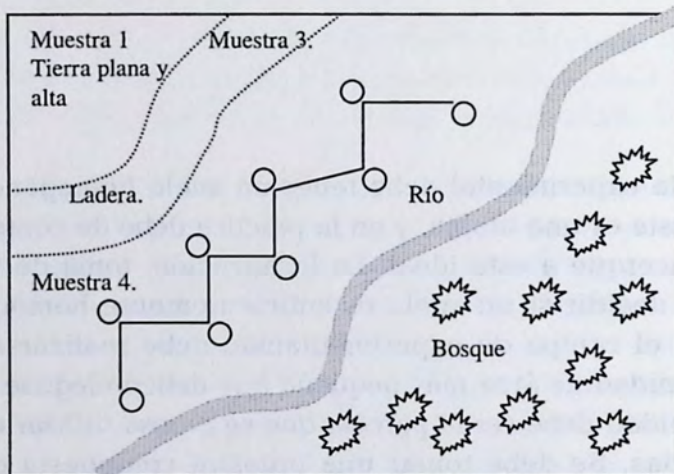
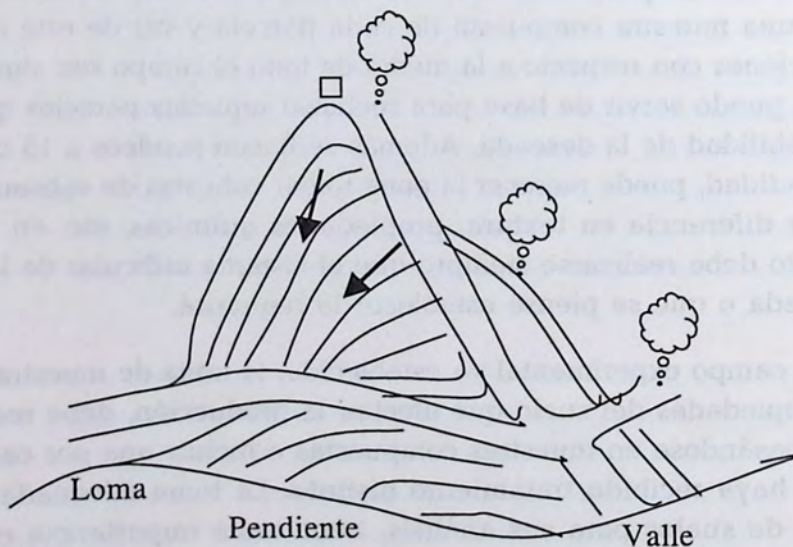


FIGURA No. 3

SITIOS DE MUESTREO ADECUADOS EN LOMA, PENDIENTE Y VALLE



En terrenos semejantes al representado en el croquis, conviene tomar por los menos tres muestras compuestas, correspondiente a valle, loma y pendiente.

2.1 EL ANÁLISIS DE SUELOS

Son muchos los factores que afectan el rendimiento de los cultivos, entre los cuales ocupa lugar importante la disponibilidad en el suelo de los nutrimentos esenciales para las plantas. Cuando estos nutrimentos no están en cantidades adecuadas, hay necesidad de agregar fertilizantes químicos para suplir las necesidades de la planta, o corregir condiciones adversas en el suelo que inhiben su absorción.

Los fertilizantes no son utilizados ampliamente en la agricultura colombiana. El análisis de suelo 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 fertilidad 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.

2.1.1 ¿QUÉ ES UNA MUESTRA REPRESENTATIVA DEL 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. Cuando se toma una muestra de suelo se deben recoger suficiente submuestras en todo el área del terreno para asegurar una información más precisa del nivel de fertilidad del área en estudio.

La muestra de suelo debe pesar aproximadamente 1 Kg, cantidad que puede representar cinco a diez hectáreas de terreno que contienen por lo menos 20 millones de Kg de suelos, en la capa arable. Por lo tanto, la porción de suelo representativa del lote debe tomarse muy cuidadosamente para que represente el área total.

Una muestra que se recoja en un solo punto del terreno dará información únicamente acerca de estos puntos y no acerca el área total. La muestra de suelo debe incluir por lo menos a 20 lugares diferentes del campo o área de 10 hectáreas o más, según la homogeneidad en características visuales y de manejo. Una muestra que incluye 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.

2.1.2 ¿CUÁNDO SE DEBEN TOMAR LAS MUESTRAS DE SUELOS?

Las muestras de suelo deben tomarse dos o tres meses antes de sembrar. En esta forma se obtendrá de esta práctica la información del análisis del suelo con el 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 área que se va a dedicar a pastos, ya que si es necesario la aplicación de cal, éstas se mezclarán 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, en dos meses antes de comenzar el período de máximo crecimiento.

Las muestras de suelos 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 suelo para análisis de fertilidad, antes de sembrar pastos y de hacer aplicaciones con 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 este muy húmedo, se extienden 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 secado de las muestras.

2.1.3 ¿DÓNDE SE DEBEN TOMAR LAS MUESTRAS DE SUELO?

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 que las áreas muy pequeñas que difieren mucho del resto del campo, ya que por su tamaño no tengan importancia en la producción de cultivos. En aquellos casos 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 estos 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, recogerá en él limite de los cambios de pendientes entre tierras planas y quebradas o en la orilla de las cercas inmediatas a los árboles en, parches pantanosos o en cualquier otra área de uso poco común no representativa.

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

2.1.4 PROFUNDIDAD A LA CUAL SE DEBE TOMAR LA MUESTRA

La muestra se debe recolectar a una profundidad de 0 a 20 cm. Cuando se trata de suelo cultivados o que se pretenden cultivar, y 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 cm. La cal y los fertilizantes que se aplican al voleo sobre el terreno penetran muy lentamente en el suelo. En el caso de alfalfa, es recomendable tomar muestras de suelo a profundidades de 30 cm. Cuando las muestras provienen de suelos a otras profundidades diferentes a los mencionados, 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 fertilizante o de cal.

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

2.1.4.1 Como tomar una muestra de suelo

La forma de tomar las muestras varia 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 suelo con fines edafológicos. En esta oportunidad se

hace referencia únicamente al primer caso, ósea 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 la muestra: un balde limpio, un sacabocado, barreno, pala o garlancha, cajas de cartón, bolsas de plásticos y las hojas de información que suministran los técnicos agrícolas.

Cuando la herramienta usada es una pala o garlancha 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 que tenga una profundidad de 20 cm. Luego se corta una tajada de suelo 2-3 cm de grueso en la pared del hueco y se toma una faja de unos 3 a 5 cm de ancho en el centro de la tajada. Se coloca una faja de suelo en el balde y se repite la operación de 15 a 20 lugares del área delimitada. 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 de alrededor 1 Kg de peso. En cambio, cuando se saca la muestra con pala, la tierra recogida constituye una cantidad muy 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.

Es necesario, entonces, mezclar bien el suelo extraído y luego obtener la cantidad de suelo necesaria para llenar la caja de cartón con cerca de 500 gr. de suelo seco al aire, botando el sobrante.

Las muestras no deben empacarse en bolsas que hayan sido utilizadas 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 correspondiente.

2.1.4.2 Como 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 suelo, porque esto ayudará especialmente en

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 se deben suministrar por cada muestra son los siguientes: nombre y dirección completa del solicitante, nombre y ubicación de la finca (corregimiento o municipio etc.), tipo de análisis solicitado, profundidad de la toma de aquellas, superficie que representa y 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 aplicar riego y cuales son los cultivos sembrados en los últimos dos años; que tipos de fertilizantes se han utilizado y a razón de cuantos kilogramos por hectárea, mencionando el rendimiento de lo sembrado, 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. Tal información mostraría los efectos de estos elementos sobre la acidez y el nivel de fertilidad del suelo. También proporciona esa información un mejor entendimiento acerca de como los suelos responden a los tratamientos y practicas de cultivo, obteniéndose así las bases para aumentar la productividad de la tierra.

Es conveniente un mapa de la finca, en el cual se indiquen los lotes y las áreas en donde se han tomado las muestras de suelo, numeradas claramente, para conservar los registros del análisis de suelo.

2.1.4.3 Métodos empleados en la toma de muestras

Cada parcela se delimita con estacas en las esquinas (usar cordel, si es necesario.) y se cruza ésta en zig-zag, haciendo sondeos de unos 15 cm de profundidad con el taladro cada dos o cuatro pasos, según sea el tamaño de la parcela. La muestra compuesta (10 a 30 sondeos en total) se coloca en la bolsa marcada para su posterior identificación. En algunos terrenos, duros, secos o pedregosos, es preferible usar barreno.

Si en vez de taladro se usa pala recta, debe ser plana, estrecha y de lados paralelos, con lo cual es más fácil obtener lonjas de tamaño unifor-

me, de unos 2 cm de grueso y 15 cm de profundidad. Así mismo, podemos utilizar un pico en suelos pedregosos, pero es más laboriosa la toma de muestras.

La muestra compuesta en la bolsa o saquitos se coloca junto con los demás en caja de cartón para llevarla al laboratorio (sin secar).

El número de muestras que se deben tomar viene dado por el número de repeticiones que tiene el tratamiento; generalmente, una muestra compuesta por cada parcela. En el caso de fincas, los aparatos y métodos a usar son los mismos, pero es conveniente hacer un croquis del terreno después de haberlo recorrido y marcar los puntos donde se van a tomar las muestras, teniendo presente que se deben hacer muestras compuestas por separado de aquellas partes que presenten características propias. Por ejemplo, si la topografía es accidentada se recogerán por separado las calicatas tomadas del terreno en pendiente de las tomadas en la parte baja del mismo. Si se nota una zona de terreno más oscuras que otra, se toman muestras compuestas por separado también. Lo mismo se hará si se aprecia la diferencia de textura en el suelo o en nivel de fertilidad (indicado por el mayor o menor desarrollo de las plantas).

Deberá tenerse especial cuidado en no sondear cerca de edificios, caminos, ni en lugares en los que se vea acumulación de fertilizantes (si estos se aplicaron en bandas) o que puedan dar análisis no representativos por cualquier otro motivo.

2.1.4.4 Manejo de muestras en el laboratorio.

Las muestras de suelo, todavía húmedas, se llevan al laboratorio, donde se someten a ciertas manipulaciones antes de su análisis propiamente dicho.

El laboratorio debe estar provisto de: estufa de secado, tamices de 1 mm, o, 50, 0.25 y 0.15 mm, papel, rodillo de madera dura, tapón de goma de unos 4 cm de diámetro, mortero de ágata, espátula metálica, frasco de boca ancha con tapa de rosca, balanza, cucharilla, pincel y cuaderno para el registro de entrada de las muestras.

Tamizado: Las muestras de suelo procedentes del campo se pasan por un tamiz de 2 mm de orificio, usando un tapón de goma y se tira la

grava y piedra que queda en el tamiz, que suele ser menos del 1% de la capa arable. En caso que haya muchos, se pesan y calculan en proporción para hacer las correcciones correspondientes en los cálculos finales, en las que debe indicarse el porcentaje de grava.

Secado: Antes de secar las muestras de suelo debe tenerse en cuenta que algunos análisis es mejor realizarlos con las muestras humedad inmediatamente después de recogidas. Entre éstos están la Acidez, potasio, fósforo extraído por ácidos, nitratos, amonio, hierro (Fe II) intercambiables y potencial redox intercambiable.

Molido: Los agregados del suelo se rompen con un rodillo de madera o tapón de goma sobre una mesa. El molido fino se realiza en mortero de ágata con mano del mismo material, y el tamaño final a que se reduzca el suelo ésta en relación con la cantidad de muestras que se necesite. Debe evitarse cuidadosamente moler las partículas de grava y arena.

Mezclado: El mezclado de la muestra se lleva a efecto colocando la tierra sobre un lienzo fuerte, el cual se agarra, en diagonal, por sus dos esquinas. Se acerca una esquina sobre la otra, haciendo los movimientos despacio para que el suelo se revuelva. Esta operación debe repetirse varias veces hasta tener certeza de tener una mezcla homogénea.

Pesada: La muestra, una vez mezclada, debe pesarse. Para ello es suficiente una balanza de aproximación de 0.1%. La tierra se manipula con una cucharilla. Es aconsejable pesar dos muestras idénticas para efectuar los análisis por duplicado, aunque es mejor no realizar al mismo tiempo las determinaciones en ambas muestras.

Almacenado: Generalmente, una vez analizadas las muestras, se desechan. Sin embargo, hay ocasiones en que es preciso conservarlas, bien por haber realizado análisis mineralógicos, por haber determinado una serie de microelementos o por tener necesidad de conocer, al cabo del tiempo, alguna cualidad. En esos casos, lo mejor es conservarlas dentro de los frascos de cristal de boca ancha, provistos de sendas etiquetas, interior y exteriormente, que permitan identificarla sin dificultad. En esta etiqueta debe figurar de manera destacada el número de registro de entrada al laboratorio. Con solo este dato y el auxilio del libro de registro, en todo momento se podrán conocer el nombre del propietario del suelo, finca en que se tomó, profundidad, etc.

III. UNIDADES EMPLEADAS EN EL ANÁLISIS DE SUELOS

Las unidades comúnmente empleadas en el análisis de suelo son: (a) porcentaje, (b) miliequivalentes por 100 g de suelo (meq/100 g); (c) partes por millón (ppm o mg/Kg). Es de anotar que se acepta que una hectárea, capa arable pesa 2 millones de Kg o en su defecto, que tiene un volumen de 2 millones de litros cuando el suelo posee una densidad aparente de 1 g/cc.

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

(a) Partes por millón (mg/Kg). Se llama partes por millón a las unidades en un millón de unidades. Ejemplo: Kg en un millón de Kg. Gramo en un millón de gramos. Litro en un millón de litros. Si un suelo tiene 10 ppm de fósforo, ese suelo tendrá 20 kg de fósforo o lo que es lo mismo 45.8 kg/hectárea de P_2O_5 . Una parte por millón de fósforo es igual a 4.58 Kg de P_2O_5 por hectárea.

(b) Miliequivalente. El equivalente químico de un elemento es su peso atómico dividido por su valencia. Si expresa en gramos se denomina equivalente gramo. Ejemplo:

- Peso atómico del calcio (Ca) = 40

Valencia 2

Equivalente gramo = $40/2 = 20$ g

- Peso atómico del magnesio (Mg) = 24

Valencia 2

Equivalente gramo = $24/2 = 12$ g

- Peso atómico del potasio (K) = 39

Valencia 1.0

Equivalente gramo = $39/1 = 39$ g

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

Ejemplo:

- Miliequivalente en gramos de Mg = $12/1000 = 0.012$ g
- Miliequivalente en gramos de K = $39/1000 = 0.039$ g
- Miliequivalente en gramos del Ca = $20/1000 = 0.020$ g

Conversión de miliequivalente a Kg/Hectárea

La hectárea de suelo, capa arable pesa en promedio 2 millones de kilogramos. Supongamos que en un análisis de suelo dio un miliequivalente de calcio por 100 g de suelo. Esto equivale a 0.02 gramos en 100 g de suelo, ósea, a 0.0002 kg/kg de suelo. Por tanto en 2 millones de Kg, es decir, en una hectárea habrá 400 Kg de Ca.

Aplicando los mismo razonamientos se tiene:

$$1 \text{ meq Ca}/100 \text{ g de suelo} = 400 \text{ Kg de Ca/ha}$$

$$1 \text{ meq Mg}/100 \text{ g de suelo} = 240 \text{ Kg de Mg/ha}$$

$$1 \text{ meq K}/100 \text{ g de suelo} = 780 \text{ Kg de Ca/ha}$$

$$1 \text{ meq Na}/100 \text{ g de suelo} = 460 \text{ Kg de Na/ha}$$

3.1 LA CALIBRACIÓN DEL ANÁLISIS DE SUELOS

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, ósea, fijar los valores límite 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 se obtiene después de comparar estadísticamente los resultados del análisis de un adecuado número de suelo, con los resultados obtenidos en el campo o invernadero (rendimiento y otras variables), al aplicarle el nutrimento bajo estudio. La calibración de un método para establecer los límites estimativos de bajo, medio y alto, solo puede ha-

cerse 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 5.

TABLA No. 5

PROBABILIDAD DE RESPUESTA DE LOS CULTIVOS A LA FERTILIZACIÓN, SEGÚN EL CONTENIDO DE NUTRIMENTOS EN EL SUELO

Contenido del nutrimento del suelo	Probabilidades de respuesta a la fertilización
Bajo (B)	Igual o mayor de 80% (alta)
Medio (M)	Alrededor de 50% (media)
Alto (A)	Igual o menor de 20% (baja)

3.2 LA RELACIÓN Ca/Mg

Uno de los problemas más comunes en los suelos colombianos es la relación Ca/Mg en el complejo coloidal de los suelos. En suelos donde la relación Ca/Mg se haya en estado natural amplio, se han constatado deficiencia 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 conocen muchos efectos benéficos del encalamiento en suelos extremadamente ácidos, como el de neutralizar los efectos tóxicos del aluminio y del manganeso, 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 del magnesio en las plantas. Es una costumbre muy difundida aplicar cal a los suelos extremadamente ácido de las regiones húmedas, sin efectuar ensayos previos para probar la bondad de esta practica.

3.3 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 esta neutraliza.

La tabla siguiente muestra el valor de neutralización de algunos materiales utilizados para encalar suelos, teniendo como base el contenido el contenido de carbonato de calcio puro (CaCO_3) con un poder neutralizante del 100%.

TABLA No. 6
EQUIVALENTE DE CaCO_3 EN VARIOS MATERIALES DE ENCALAMIENTO

Nombre común	Formula química	Equivalente de CaCO_3
Carbonato de calcio puro	CaCO_3	100
Caliza -cal agrícola	CaCO_3	70-95
Cal viva	CaO	150
Cal apagada	Ca(OH)_2	120
Cal dolomítica	$\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$	110
Escorias Thomas	_____	60-70
Escoria de alto horno	_____	75-90

IV. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE SUELO

Los siguientes son los métodos que se siguen en el laboratorio de suelos.

4.1 DETERMINACIÓN DEL pH (REACCIÓN DEL SUELO)

El pH se determina por el método del Potenciómetro con electrodo de vidrio en relación suelo-agua 1:1.

Procedimiento. Pese 20 gramos de suelo en un vaso de 50 ml y agregue 20 ml de agua destilada medida en probeta.

Agite intermitentemente durante una hora y luego mida el pH en un Potenciómetro con electrodo de vidrio previamente calibrado. Anote las lecturas con aproximación de una cifra decimal.

Nota: efectuar pruebas de Carbonatos cuando el pH es 7.0 o superior.

El pH o "La reacción del suelo y sus efectos"

- Menor de 5.5: fuerte a extremadamente alto, posible toxicidad del aluminio y del manganeso. Posible deficiencia de P, Ca, Mg y Mo. Es necesario encalar para la mayoría de cultivos.
- 5.5 y 5.9: moderadamente ácido, baja solubilidad del fósforo y regular disponibilidad de Calcio y Magnesio. Algunos cultivos, como las leguminosas requieren encalamiento.
- 6.0 y 6.5: ligeramente ácido. Condición para el crecimiento de la mayoría de los cultivos.
- Menor de 6.6 a 7.3: casi neutro a neutro. Buena disponibilidad de Ca y Mg y moderada disponibilidad de P y baja disponibilidad de micro nutrientes a excepción del Mo.

- 7.4 a 8.0: alcalino. Posible exceso de carbonatos. Baja solubilidad del fósforo y de micro nutrientes, a excepción del Mo. Se inhibe el crecimiento de varios cultivos. Es necesario tratar el suelo con enmiendas.
- Mayor de 8.0: muy alcalino. Posible exceso de Na intercambiable. Se inhibe el crecimiento de la mayoría de los cultivos. Es necesario tratar el suelo con enmiendas.

TABLA No. 7
RANGO ÓPTIMO DE pH EN ALGUNOS CULTIVOS

Cultivo	pH	Cultivo	pH	Cultivo	pH
Ají	5.5 - 7.0	Cocotero	6.0 - 7.5	Pastos	4.5 - 8.0
Alfalfa	6.5 - 8.0	Col-Repollo	6.0 - 8.0	Pepino	5.5 - 7.5
Algodón	5.0 - 8.0	Coliflor	5.5 - 7.5	Pimentón	5.5 - 7.5
Arveja	6.0 - 7.5	Espárragos	6.0 - 8.0	Rábano	6.0 - 7.0
Apio	6.0 - 7.5	Espinaca	6.0 - 7.5	Remolacha	6.0 - 8.0
Arroz	4.5 - 8.0	Fresas	5.0 - 6.0	Sandía	5.5 - 7.0
Avena	5.0 - 7.5	Fríjol	5.5 - 7.5	Soya	6.0 - 7.0
Banano-Plátano	6.0 - 8.0	Fique	6.0 - 8.0	Tabaco	5.5 - 6.5
Caña de azúcar	6.0 - 7.0	Habas	5.5 - 7.5	Tomate	5.5 - 7.5
Cacao	6.0 - 6.5	Lechuga	6.0 - 7.0	Trigo	5.5 - 7.5
Café	4.5 - 6.5	Maíz	5.5 - 7.5	Yuca	5.5 - 6.5
Cebada	6.5 - 8.0	Mani	6.0 - 7.0	Zanahoria	5.5 - 7.5
Cebolla	6.0 - 7.0	Melón	6.0 - 8.0		
Cítricos	5.0 - 7.0	Mora	4.5 - 5.5		
		Palma	6.5 - 7.5		
		Papa	4.5 - 6.5		

4.2 DETERMINACIÓN DE LA ACIDEZ INTERCAMBIABLE (AL+H)

Se determina mediante la extracción con KCl normal titulado el extracto con 0.1N NaOH, en presencia de fenoftaleína. La Acidez Intercambiable se expresa en miliequivalente por 100 gramos de suelo (meq/100 g).

Método: KCl 1N (Método de Yuang)

En los suelos con pH iguales o inferiores a 5.5, pese 2.5 gramos de suelo en frasco de extracción de 50 ml, agregue 20 ml de la solución de

KCl 1N, tape y agite mecánicamente durante 10 minutos. Deje en reposo por 10 minutos. Filtre y tome 10 ml del filtrado, agregue 10 ml de agua destilada. Titule con NaOH 0.01N en presencia de fenoftaleína al 0.1%.

Al=Acidez Intercambiable (H+Al) meq/100 g

$$Al = \frac{mlsNaOHxN \ NaOHx25x100}{peso muestrax100}$$

4.3 DETERMINACIÓN ENTRE Al^{3+} Y H^+ INTERCAMBIABLE

A la solución procedente de la titulación anterior, coloreada de rosado agregue una gota de HCl 0.1N para decolorarla y luego 2.5 ml de Naf al 4% y agite. Si el extracto de suelo contiene aluminio de cambio, el color rosado retorna; titule entonces la solución con HCl 0.01N justamente hasta que el color rosado desaparezca y agreguen dos gotas de fenoftaleína, si reaparece el color rosado, continúe la titulación y agregue unas gotas del indicador si el color rosado desaparece, esto indica que la titulación esta completa. Los resultados de esta segunda titulación: permite calcular el aluminio de intercambio que se expresa en meq/100g, de suelo seco. La diferencia entre acidez intercambiable y aluminio intercambiable da él hidrógeno de cambio.

Cálculos:

$$Al^{3+}int(meq/100g) = [ml \ HCl \ x \ NHCl \ 25x100]/[peso \ muestrax10]$$

$$H^+ \ (Intercambiable) = Acidez \ intercambiable - aluminio \ intercambiable$$

Nota: la acidez intercambiable en la mayoría de los suelos esta constituida por el Al y el H intercambiable. 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 aluminio como problema en los suelos:

- a) Si el análisis indica valores superiores a 2 meq de Al intercambiable.
- b) Sí la relación $[Ca+Mg+K]/Al(1$

- c) Si el porcentaje del Al dentro de los cationes intercambiables es mayor de 25.

4.4 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_2SO_4 concentrado (método de Walkley Black), para posterior determinación colorimétrica.

Procedimiento

Según el color del suelo, pese de 0.1 a 2 g de suelo, agregue 5 ml de dicromato de potasio 1N y 10 ml de ácido sulfúrico concentrado. Agite lentamente y deje enfriar sobre una lamina de asbesto; una vez frío diluya con unos 100 ml de agua y agregue 5 ml de ácido fosfórico, 3 gotas de fenoftaleína o 5 gotas de ortofenantrolina y valores del exceso de dicromato con la solución ferrosa 0.5N llevando un blanco para cada serie de muestras.

Cálculo:

$$\text{Carbono orgánico (\%)} = [(B-M)N \times 0.003 \times 1.3 \times 100] / (\text{peso de la muestra})$$
$$\text{Materia orgánica} = \text{Carbono Orgánico} \times 1.724$$

Reactivos

- H_2SO_4 concentrado.
- H_3PO_4 del 85% o NaF sólido.
- Solución estándar de $K_2Cr_2O_7$ 1N.

Disolver en agua 49.04 g de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) pulverizado y seco a $100^\circ C$. Llevar a volumen de 1 Litro.

- Solución ferrosa 0.5N.

Disolver 196.1 de sulfato ferrosos amónico ($Fe(NH_4)_2 \cdot 6H_2O$) en 800 ml de agua y 20 ml de H_2SO_4 concentrado. Llevar a volumen de 1 litro.

También se puede emplear solución de 1N sulfato ferroso ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) preparado de la siguiente forma: pesar 278 g de sulfato ferroso, agregue 15 ml de H_2SO_4 concentrado y llevar a 1 litro en balón aforado.

- Indicador de difenilamina.
Disolver 0.16 g de difenilamina sulfato de bario en agua y llevar a 100 ml.
- Indicador alterno: complejo ferroso ortofenantrolina 0.0025M.
(Este indicador reemplaza el indicador difenilamina)
Pesar 14.85 g de ortofenantrolina monohidratada y 6.95 de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Disolver en agua destilada y llevar a volumen de 1 litro.

TABLA No. 8

ESTIMATIVO DE MATERIA ORGÁNICA EN LOS SUELOS

Clima	Interpretación del % de materia orgánica		
	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

TABLA No. 9

ESTIMATIVO DE CARBONO ORGÁNICO EN LOS SUELOS.

	Interpretación del % de carbono orgánico y nitrógeno total				
	deficiente	bajo	medio	alto	excesivo
Carbono Orgánico	≤ 1.0	1.0-4.0	4.0-16.0	16.0-64.0	>64.0
Nitrógeno Total	≤ 0.05	0.005-0.1	0.1-0.2	0.2-0.4	> 0.4

TABLA No. 10

RELACIÓN CARBONO NITRÓGENO

	Niveles				
	deficiente	bajo	medio	alto	excesivo
Relación C/N	≤ 15.0	15.0-20.0	20.0-25.0	25.0-30.0	>30.0

4.5 DETERMINACIÓN DEL FÓSFORO

Para determinar el fósforo en el suelo existen varios métodos para su extracción. Algunos de los trabajos efectuados en Colombia han mostrado correlación con los métodos Bray II, Bray I y Truog.

Aquí utilizaremos el método de Bray II. La extracción se efectúa con una mezcla de 0.03N NH_4F y de 0.1 N HCl. El fósforo del suelo se expresa en partes por millón (ppm).

Procedimiento

Pese 2.85 g de suelo y transfiera a los frascos de extracción. Ponga los frascos en el agitador, agregue a las muestras simultáneamente 25 ml del extractante, tape rápidamente y agite exactamente 40 segundos. Una vez terminada la agitación filtre al mismo tiempo todas las muestras en vasos de precipitados de 50 ml; mida con una pipeta aforada 2 ml de los extractos y transfiera a tubos de ensayo. Agregue 18 ml de solución de trabajo y agite nuevamente. Lea el porcentaje de transmitancia en un fotocolorímetro a 660 o 635 (según espectrofotómetro) nm 20 minutos después de desarrollado el color. Ajuste el 10% de transmitancia con un blanco de reactivos.

Cálculos:

$$P(\text{ppm}) = Lc \cdot$$

$$P = \text{disponible en el suelo (ppm)} = \text{ppm (curva)} \times 7.14(25/2.85)$$

Reactivos

Solución: extractora (HCl 0.1N + NH_4F 0.03N)

Disolver 1.11 g de NH_4F y 16.64 ml de HCl en 200 ml de agua destilada y completar a volumen de 1 litro.

- Desarrollo de color

Solución A.

Disolver 60 g de molibdato de Amonio ($\text{NH}_4)_6\text{MO}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ en 200 ml de agua destilada, añadir 1.455 g de Tartrato de Antimonio y Potasio $\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ y agitar hasta que disuelva. Agregar lentamente con agitación suave, 700 ml de ácido sulfúrico concentrado. Enfriar la solución y diluir a volumen de 1 litro con agua destilada.

Solución B.

Preparar esta solución de ácido Ascórbico ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) en 500 ml de agua destilada, completar a volumen de un litro.

Las soluciones A y B deben almacenarse en un lugar frío y oscuro por ser sensibles a la luz y al calor.

Solución de trabajo.

Preparar esta solución el día que se va utilizar, a partir de las soluciones A y B del párrafo anterior. Tomar 25 ml de la solución A y transferir a un vaso de 1 litro, que contenga 800 ml de agua. Mezclar y añadir 10 ml de la solución B y llevar luego a volumen con agua destilada.

Solución estándar de fósforo.

En balón aforado de 1 litro disolver en 300 ml de agua destilada 0.2195 g de fosfato ácido de potasio cristalizado (KH_2PO_4), previamente seco durante una hora a 105°C . esta solución contiene 50 ppm de P a partir de la cual se preparan soluciones para la curva patrón de P de la manera como se indica:

Concentración de las soluciones patrón de fósforo.

Volumen de la solución estándar (50 ppm P)(ml)	Volumen final con H_2O doblemente destilada(ml)	Concentración de fósforo(ppm)
0	100	0
1	100	0.5
2	100	1.0
4	100	2.0

TABLA No. 11

NIVELES DE FÓSFORO EN EL SUELO

	bajo	medio	alto
Fósforo (ppm)	< 15	15-30	>30

4.6 DETERMINACIÓN DE BASES INTERCAMBIABLES

Ca^{++} ; Mg^{++} , K^+ ; Na^+ . La extracción se hace con acetato de amonio normal y neutro, y la posterior determinación se logra por medio de el espectrofotómetro.

Procedimiento.

Pese 2.5 g de suelo, agregue 25 ml de acetato de amonio neutro. Agite durante 10 minutos y filtre. Para determinar las bases de cambio tomar

(2) dos ml del filtrado y agregar 2 ml de oxido de Lantano al 1% y llevar a volumen de 100 ml con agua destilada.

Cálculos:

$$\text{Ca: F.D: } \frac{\text{ppm}}{20 \text{ g}} \times \frac{25 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} \times \frac{100 \text{ g}}{2.5 \text{ g}} \times \frac{100 \text{ ml}}{2 \text{ ml}}$$

$$\text{Ca(meq/100g)} = \text{ppm Ca en solución (Curva)} \times 2.5$$

$$\text{Mg: F.D: } \frac{\text{ppm}}{12} \times \frac{25 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} \times \frac{100 \text{ g}}{2.5} \times \frac{100 \text{ ml}}{2 \text{ ml}}$$

$$\text{Mg(meq/100g)} = \text{ppm Mg en solución (curva)} \times 4.6$$

$$\text{Na: F.D: } \frac{\text{ppm}}{23 \text{ g}} \times \frac{25 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} \times \frac{100 \text{ g}}{2.5 \text{ g}} \times \frac{100 \text{ ml}}{2 \text{ ml}}$$

$$\text{Na(meq/100g)} = \text{ppm Na en solución (curva)} \times 2.17$$

$$\text{K: F.D: } \frac{\text{ppm}}{39} \times \frac{25 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} \times \frac{100 \text{ g}}{2.5 \text{ g}} \times \frac{100 \text{ ml}}{2 \text{ ml}}$$

$$\text{K(meq/100g)} = \text{ppm K en solución (curva)} \times 1.28$$

Reactivos para bases intercambiables y CIC

- Acetato de Amonio ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) 1N a pH 7.0

Disolver 77.08 g de Acetato de Amonio en agua y diluir a un litro, ajustando el pH a 7 con Acido Acético o hidróxido de amonio. También puede prepararse así: Disolver en 500 ml de agua destilada, 57.3 ml de Acido Acético concentrado y 67.5 ml de NH_4OH del 30%. Fijar el pH en 7 y llevar a volumen de 1 litro con agua destilada.

4.6.1 MÉTODO DE CALCIO Y MAGNESIO POR TITULACIÓN CON E.D.T.A. 0.01N: (DIETILENEDIAMINATETRA ACETATO (E.D.T.A. - VERSENO))

Determinación de Calcio

Procedimiento

Pesar 1.25 g de suelo seco y tamizado. Se le agrega 12.5 ml de acetato de amonio pH=7.0, agitar durante 10 minutos, filtrar; del filtrado tomar 2 ml y se le agrega 10 ml de agua destilada más 1 ml de hidróxido de

sodio, más 3 gotas de Ferrocianuro de Potasio, mas una pizca de Calceina o Murexida, titular con E.D.T.A. 0.01N

Cálculos:

$$\text{Ca (meq/100 g)} = [\text{E.D.T.A. N} \times \text{V.f.} \times 100] / [\text{p.M.} \times \text{xalicuota}]$$

E.D.T.A= gastado al titular

N= normalidad del E.D.T.A

V.f.= volumen final

p.M.= peso muestra

4.6.2 DETERMINACIÓN DE CALCIO MÁS MAGNESIO

Procedimiento.

Pesar 1.25 g de suelo seco y tamizado; se le agrega 12.5 ml de acetato de amonio pH=7.0, agitar durante 10 minutos, filtrar. Del filtrado tomar 2 ml y se le agrega 10 ml de agua destilada mas 1 ml de solución Buffer, más 3 gotas de ferrocianuro de potasio, más una pizca de Eriocromo negro T. Titular con E.D.T.A. 0.01N

Cálculos:

$$\text{Mg (meq/100 g)} = \frac{\text{E.D.T.} \times \text{N} \times \text{V.f} \times 100}{\text{P.M.} \times \text{xalícuota}}$$

Reactivos

- Solución Buffer: Cloruro de amonio - hidróxido de amonio. Disolver 67.5 g de NH_4Cl c.p. en 570 ml de NH_4OH concentrado. Llevar a volumen de 1 litro con agua destilada.

- Hidróxido de sodio 6N.

Disolver 240 g de NaOH en lentejas en 500 ml de agua destilada. Enfriar y llevar a volumen de litro con agua destilada.

- Indicador murexida (purpurato de amonio).

En un mortero de porcelana mezclar íntimamente 0.5 g de murexida con 100 g de sulfato de potasio anhidro. Guardar la mezcla así obtenida en frasco oscuro

- Indicador negro de Eriocromo T.

En un mortero de porcelana mezclar íntimamente 0.5 g de negro de Eriocromo T con 100 g de NaCl, guardar la mezcla así obtenida en frasco oscuro.

- Calceína al 1%

Mézclase 1 gramo de Calceína, 100 g de nitrato de potasio (KNO_3) finamente triturado y 0.20 gramos de Timolftaleína.

También, puede utilizarse indicador de Purpurato de Amonio, mézclase cuidadosamente 0.5 gramos de Purpurato de Amonio (Murexide) con 100 g de sulfato de potasio (K_2SO_4).

TABLA No. 12

ESTIMATIVO CONCEPTUAL DE LAS BASES EN EL SUELO

Elemento		Interpretación		
		Baja	Media	Alta
Calcio	Meq/100 g saturación	Menor de 3.0 Menor de 30	3.0 - 6.0 30 - 50	Mas de 6.0 Mas de 50
Magnesio	Meq/100 g saturación	Menor de 1.5 Menor de 15	1.5 - 2.5 15 - 25	Mas de 2.5 Mas de 25
Potasio	Meq/100 g saturación	Menor de 0.20 Menor de 2.0	0.20 - 0.40 2.0 - 3.0	Mas de 0.4 Mas de 3.0
Sodio	Meq/100 g saturación	Su contenido debe ser menor de 1.0 Debe ser menor del 15%		
Relación normal Ca: Mg: K 3: 1 : 0.25				

Nota: en general es difícil establecer niveles críticos para estos nutrientes. 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 de Ca/Mg debe tenerse en cuenta en suelos ácidos que requieren encalamiento. El valor mínimo para la relación debe ser 1.0. cuando la relación Ca/Mg es amplia, mas de 4.0 y el suelo necesita encalamiento se recomienda aplicar 1250 Kg de cal Dolomítica por cada meq de Al.

4.7 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICA (C.I.C.)

Al desplazar los cationes del suelo con Acetato de Amonio se lava el exceso de amonio, con alcohol. El amonio (NH_4^+) retenido se mezcla con una solución de NaCl al 10%, al lixiviado se agregan 10 cm^3 de

Formaldehído neutro al 40%. Luego se titula con 0.1 N de NaOH, utilizando fenoftaleína 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^{++} ; Mg^{++} ; K^+ ; Al^{+++} ; H^+ intercambiables, lo cual da la C.I.C. efectiva.

Método. Acetato de amonio normal y neutro

Procedimiento

Pese 5 gramos de suelo en frascos de 100 ml, agregue 25 ml de acetato de amonio, deje en reposo toda la noche o agite 15 minutos y deje en reposo un cuarto de hora; filtre en embudo Buehner, al suelo que queda en el embudo se lava con 50 ml de alcohol etílico en cinco porciones de 10 ml cada vez. Para eliminar el exceso de amonio desconecte los erlemeyer en que recibió el filtrado y lávelos con agua destilada o sustitúyalos por otros limpios. Lixivie el suelo con solución de NaCl al 10% agregada en porciones de 10 ml, cinco veces por cada muestra.

Agregue al filtrado desplazado con NaCl, 10 ml de Formaldehído al 40%. Titule con NaOH 2.0 N en presencia del indicador fenoftaleína que cambia a rosado pálido. Descuento el valor correspondiente a la titulación de un blanco hecho con agua destilada, NaCl y Formaldehído.

Cálculos

$$C.I.C. \text{ (meq/100 g)} = \frac{V(NaOH) \times 0.2 \times 100}{5}$$

Reactivos

- Alcohol etílico al 95% neutralizado.
Para establecer su acidez, a 50 ml de alcohol agregar 3 gotas de fenoftaleína y titular con NaOH 0.1N hasta obtener un color ligeramente rosado; no se debe emplear más de 0.2 ml de soda 0.1N.
- Solución de cloruro de sodio (NaCl) al 10%.
Disolver 100 g de NaCl 0.1N en 1000 ml de agua.
- Formaldehído del 40% neutralizado
- Hidróxido de sodio (NaOH) 0.1N
Disolver 4 g de NaOH y completar a un litro con agua.

TABLA No. 13

NIVELES DE CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO PARA LOS SUELOS

	Interpretación				
	deficiente	bajo	medio	alto	excesivo
C.I.C. (meq/100 g)	≤ 5.0	5.0 - 10	10 - 40	40 - 80	> 80

Según Coljap.S.A.

4.8 DETERMINACIÓN DEL AZUFRE

Obtención del extracto del suelo.

Materiales

Erlenmeyer de 125 ml, bureta automática de 50 ml, agitador, papel filtro de 15 cm de diámetro Whatman n° 42 o equivalente, balanza, embudo de plástico o de vidrio, y garrafa de plástico para la solución extractora.

Reactivo y su preparación.

Fosfato de Calcio ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) para la solución extractora disolver 2.0 gramos de fosfatos en un litro de agua desionizada o destilada. La solución tiene una concentración de 0.008M.

Nota: Fox y colaboradores en 1964 recomiendan usar fosfato de calcio en suelo con contenidos altos de materia orgánica, porque eso elimina el problema de la turbidez del extracto; así, el anión fosfato desplaza al anión fosfato absorbido y el cation calcio evita la extracción de materia orgánica del suelo y elimina la contaminación que proviene del azufre orgánico.

4.8.1 MÉTODO TURBIDIMÉTRICO PARA LA DETERMINACIÓN DE AZUFRE

Para la determinación de azufre en el suelo se sigue un procedimiento de turbidimetria.

Materiales

Colorímetro, tubos colorimétricos y pipeta de 1, 2, 2.5 y 10 ml.

Reactivos y su preparación.

1. Solución semilla. Pesar 0.1135 gramos de K_2SO_4 (seco en la estufa a $60^\circ C$) y disolver en 100 ml de agua desionizada; agregar 49.67 ml de HCl 12.08N y diluir luego a 250 ml con agua destilada. La concentración final del HCl es de 2.4N.
2. Gelatina-Cloruro de Bario. En 400 ml de agua caliente (60 y $70^\circ C$), disolver 0.3 gramos de gelatina o 4.0 gramos de goma arábica de grado "reactivo químico". Enfriar la solución con agitación constante. Agregar luego 50 g de NaCl ($BaCl_2 \cdot H_2O$) grado reactivo y agitar la mezcla cuando el cloruro de bario este disuelto.
3. Sulfato de potasio (K_2SO_4) grado reactivo.
4. Solución extractora a base de fosfato de calcio.

Procedimiento

- Tomar 10 ml de extracto de suelo.
- Agregar 2 ml de la solución semilla, por cada 2 ml de esta solución hay 0.5 mg de S.
- Agregar 4 ml de la mezcla de gelatina o goma arábica con cloruro de bario y agitar bien hasta cuando la muestra este bien homogénea.
- Dejar en reposo por 20 minuto, agitar de nuevo y 10 minutos después leer el porcentaje de Transmitancia en un colorímetro a 420mu.
- Calcular el contenido de azufre en la alícuota analizada, haciendo referencia a una curva calibrada con soluciones estándar como se indica a continuación.

Preparación de estándar de azufre

1. Disolver 5.43 g de sulfato de potasio (K_2SO_4) en agua destilada y diluir la solución a un litro. Esta solución contiene 1000 ppm de azufre.
2. A partir de la solución anterior, preparar una de 80 ppm de azufre, pipeteando 8 ml y llevando a un volumen de 100 ml con agua destilada. Con esta solución de 80 ppm de azufre se preparan las soluciones estándar para la curva patrón como se indica en el tabla 14.
3. Tomar 10 ml de cada una de estas soluciones y seguir el procedimiento de la misma manera que para las muestras. Las concentra-

ciones finales de estas soluciones son de 0., 1.6, 3.2, 6.4, 9.6, 12.8 y 16.0 ppm de S.

Cálculos

Aplicar la siguiente fórmula

$$S \text{ suelo (ppm)} = S \text{ muestra (ppm)} \times 5.0$$

En donde 5.0 es el factor de dilución (FD), que se obtiene así:

$$FD = \frac{50 \text{ ml S In. Extracto}}{1000 \text{ ml S In. Extracto}} \times \frac{1000 \text{ g suelo}}{10 \text{ g suelo}} = 5.0$$

TABLA No. 14

PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES PARA LA CURVA PATRÓN DE S Y CONCENTRACIÓN FINAL

Volumen de la solución estándar (ml)	Volumen de la solución extractora (ml)	Concentración final de S en 100 ml (ppm)
0	11	0.0
2	98	1.6
4	96	3.2
8	92	6.4
12	88	9.6
16	84	12.8
20	80	16.0

TABLA No. 15

NIVELES DE S EN EL SUELO

Elementos	Deficiente	Bajo	Medio	Alto	Excesivo
Azufre (S ppm)	≤ 0.28	0.28 - 1.66	1.66 - 6.74	6.74 - 13.48	> 13.48

Tomado de Coljap S.A.

4.9 DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Se determina la conductividad eléctrica (CE) y la clase de aniones: NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} y cationes Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ y Na^+ , en el extracto de suelo saturado. También se determina el pH del suelo saturado y el contenido de Na intercambiable en el suelo expresado en porcentaje.

La conductividad del extracto se expresa en milimhos/cm.

La conductividad eléctrica es un índice de la salinidad así como el porcentaje de saturación de sodio lo es de la sodicidad del suelo.

La medida de la conductividad eléctrica del extracto del suelo sirve como una guía apenas aproximada, pero rápida, del grado de salinidad en el suelo.

Materiales

Vaso de 100 ml, varilla de vidrio, puente de conductividad eléctrico.

Reactivo

Agua doblemente destilada.

Procedimiento

Pesar 10 g de suelo seco al aire y tamizado con malla N° 10 (2 mm) y colocar en un vaso de 100 ml. Añadir 50 ml de agua doblemente destilada y agitar por 30 minutos. Dejar la suspensión en reposo durante la noche.

Pasado ese tiempo, agitar de nuevo por 15 minutos y leer la conductividad eléctrica, usando un puente de conductividad.

Los resultados se expresan en micromhos/cm a 25°C.

TABLA No. 16

INTERPRETACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL EXTRACTO DEL SUELO (MMHOS/CM)

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

Nota: en general por encima de 4 mmhos/cm se restringe el rendimiento de muchos cultivos y se debe recuperar el suelo. 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 basándose en enmiendas sulfatadas y de lavado para recuperarlo.

TABLA No. 17

CANTIDAD DE YESO Y AZUFRE PARA SUSTITUIR LAS CANTIDADES DE SODIO INTERCAMBIABLE

Sodio intercambiable (meq/100 g de suelo)	Yeso(CaSO ₄ +H ₂ O)		Azufre	
	Tonelada hectárea 30 cm	Tonelada hectárea 15 cm	Tonelada hectárea 30 cm	Tonelada hectárea 15 cm
1	4.2	2.2	0.89	0.40
2	8.8	4.4	1.78	0.80
3	12.6	6.7	2.67	1.20
4	16.8	8.9	3.56	1.60
5	21.0	11.1	4.45	2.00
6	25.2	13.3	5.34	2.40
7	29.4	15.5	6.23	2.80
8	33.6	17.7	7.12	2.20
9	37.8	20.0	8.01	3.60
10	42.0	22.2	8.90	4.00

Nota: La cantidad de yeso se dan aproximación de 0.1 toneladas, 1 hectárea de 30 cm de suelo pesa aproximadamente 4 millones de kilos y una hectárea de 15 cm pesa 2 millones de kilos.

TABLA No. 18

REDUCCIÓN DE LA PRODUCCIÓN (%) A DIFERENTES NIVELES DE CE (MMHOS/CM).

Especie Vegetal	Reducción		
	10%	25%	50%
A. Cultivos Forrajeros			
Argentina o bermuda	13	16	18
Frestuca, Ray-gass, Cebada (heno)	7	11	14.5
Alfalfa	3	5	8
Orchero, pasto azul	2.5	4.5	8
Trébol	2	2.5	4
B. Cultivos			
Algodón, Remolacha azucarera	10	13	16
Arroz, maíz	5	6	8
Ají, lechuga	2	3	5
Brócoli, tomate	4	6	8
Batata, Maíz dulce, Papa, Col	2.5	3.5	6
Caña de azúcar	3	5	3.5

Especie Vegetal	Reducción		
	10%	25%	50%
Cebolla Junca	2	3.5	4
Cebada	12	16	18
Espinaca, soya	5.5	7	9
Fríjol y Habichuela	1.5	2	3.5
Habas	3.5	4.5	6.5
Remolacha	8	10	12
Sorgo	6	9	12
Trigo	7	10	14
Zanahoria	1.5	2.5	4
C. Frutales	10% - 20%		
Breva, Granada, Vid, Olivo	4 - 6		
Cítricos, Melón	3 - 3.5		
Pera, Manzana, Ciruelo, Durazno, Mora	2.5		
Freza, Aguacate	1.5 - 2		

TABLA No. 19

TOLERANCIA RELATIVA DE LOS CULTIVOS AL P.S.I.*

Tolerante	P.S.I.	Cultivo	Respuesta al crecimiento
Muy sensible	2 - 10	Frutales desiduos nueces, cítricos y aguacate	Síntomas de toxicidad al Na a niveles muy bajos de P.S.I.
Sensible	10 - 20	Fríjol	Crecimiento atrofiado a bajo P.S.I., aunque el suelo esta físicamente bien
Moderado	20 - 40	Trébol, avena, arroz, pasto Dallis y puntero	Crecimiento atrofiado por factores nutricionales y condiciones adversas del suelo
Tolerante	40 -60	Trigo, algodón, alfalfa, cebada, tomate y remolacha	Crecimiento atrofiado por condiciones adversas físicas del suelo
Muy tolerante	> 60	Pasto Rodees y otros	Crecimiento atrofiado por condiciones físicas del suelo adversas

4.10 DETERMINACIÓN DE COBRE, HIERRO, ZINC, MANGANESO Y BORO

Los análisis de suelo no se han desarrollado lo suficientemente para determinar la cantidad de elementos menores existentes en el suelo en

forma aprovechable. Otras características de los suelos que pueden dar indicios de deficiencias de elementos menores son: el pH, la materia orgánica y la textura. A medida que el pH aumenta, especialmente por encima de 6, la aprovechabilidad varía de acuerdo con el elemento y las propiedades del suelo. El molibdeno es más aprovechable a alto que a bajo pH.

Lo contrario sucede con el Cobre, hierro, zinc, manganeso y el boro. La deficiencia del cobre también se puede observar en cosechas que crecen en suelos orgánicos con pH bajo.

Método (Determinar Cu, Fe, Zn y Mn)

Materiales

Vaso de extracción de 50 ml, agitador, pipeta automática de 20 ml, papel filtro de 11 cm de diámetro (Whatman n°42 o equivalente) y frasco de vidrio para la solución extractora.

Reactivos y su preparación.

Solución extractora de HCl 0.05N más H_2SO_4 0.025N. Mezclar cuidadosamente 50 ml HCl 1N y 2.5 ml de H_2SO_4 10N; Completar luego al volumen de 1 litro con agua doblemente destilada.

Procedimiento

Pesar 5 gramos de suelo seco al aire y tamizado con malla n°10 (2 mm) y transferir a un vaso de 50 ml, añadir 20 ml de la solución extractora.

La relación suelo-extractante es de 1:4.

Agitar por 15 minutos y filtrar usando papel Whatman n°42 o equivalente.

Leer directamente en un Espectrofotómetro de Absorción Atómica la concentración de cada uno de los elementos menores en el extracto obtenido, utilizando las respectivas soluciones estándar.

Para preparar esas soluciones estándar se emplean soluciones concentradas (1000 ppm de cada elemento) preparada comercialmente, tomando alícuotas y diluyéndolas como se indica en la tabla siguiente:

TABLA No. 20

CANTIDADES REQUERIDAS DE SOLUCIÓN DE 1000 PPM DE MICRO NUTRIMENTOS Y VOLÚMENES DE DILUCIÓN PARA OBTENER LAS RESPECTIVAS SOLUCIONES ESTÁNDAR

Cu y Zn			Fe y Mn		
Solución 1000 ppm (ml) ^a	Volumen final	Concentración solución estándar (ppm)	Solución 1000 ppm (ml) ^a	Volumen final	Concentración solución estándar (ppm)
0.00	250	0.0	0.00	250	0.0
0.25	500	0.5	0.25	250	1.0
0.25	250	1.0	0.50	250	2.0
0.50	250	2.0	1.00	250	4.0
1.00	250	4.0	1.50	250	6.0
2.50	250	10.0	5.00	250	20.0

^a Las cantidades de soluciones estándar indicadas para las cuatro pueden ir juntas

Cálculos

El contenido de cada elemento en el suelo esta dado por la fórmula:

$$\text{Zn, Cu, Fe o Mn Suelo (ppm)} = \text{Zn, Cu, Fe o Mn Muestras (ppm)} \times 4.0$$

En donde, 4.0 es el factor de dilución FD el cual se calcula así:

$$FD = \frac{20\text{ml Solución Extractora}}{1000\text{ml Solución Extractora}} \times \frac{100\text{g Suelo}}{5\text{g Suelo}} = 4.0$$

TABLA No. 21

NIVELES CRÍTICOS GENERALES PARA ELEMENTOS MENORES DE ACUERDO CON LA METODOLOGÍA DEL ICA

Elementos	Niveles (ppm)		
	Bajo	Medio	Alto
Boro	0.20	0.20 - 0.40	Mayor de 0.40
Cobre	1.0	1.0 - 3.0	Mayor de 3.0
Manganeso	5.0	5.0 - 10	Mayor de 10
Hierro	25	25 - 50	Mayor de 50
Zinc	1.5	1.5 - 3.0	Mayor de 3.0
Molidebno	0.1	-	-

Tomado de Lora, R. (1991)

4.11 DETERMINACIÓN DE BORO (PPM)

Método: agua caliente / Azometina H.

Procedimiento

Ponga 20 g de suelo seco al aire en un erlenmeyer Corning bajo en boro, agregue 40 ml de agua destilada y 0.5 de solución de BaCl₂ al 10%. Pese el conjunto, conecte a un condensador de reflujo y caliente hasta el primer signo de ebullición, someta a reflujo el contenido exactamente por 5 minutos. Enfríe el recipiente sin remover el condensador, pese de nuevo el conjunto y restablezca su peso inicial con agua destilada. Filtre utilizando papel de parafina y velocidad baja.

Determinación por Azometina H.

Tome 5 ml del extracto de suelo, agregue 2 ml de Buffer, 6 del extractante (H₂O) y 2 ml de Azometina H. Dejar desarrollar color por 40 minutos y leer en el colorímetro a 430 nm.

Cálculos

$$B(\text{ppm}) = \frac{Lc \times V}{pm}$$

Lc=Lectura de la curva

V=volumen extractante

Ps=Peso de la muestra

Reactivo para el Boro

*Buffer

Disolver 100 g de Acetato de Amonio en 160 ml de agua destilada, agregar 50 ml de Ácido Acético (densidad 1.05) y 2.68 g de E.D.T.A. (sal disódica), a esta mezcla añadir 2.4 ml de ácido tiglicólico (MERCA-ptoacético) mezclar bien y dejar en reposo una noche. El reactivo permanece en buenas condiciones ocho días.

*AZOMETINA-H

Colocar en un balón aforado de 100 ml, 0.9 g de Azometina H y 2.0 g de ácido ascórbico, completar a volumen con agua desmineralizada desti-

lada, si no se disuelve por completo calentar ligeramente (filtrar si la solución es turbia). Esta solución debe prepararse el día que se va a utilizar.

4.12 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 una solución de Hexametáfosfato y Carbonato de Sodio para agricultura se determina la textura al tacto.

Procedimiento

Pese de 50 a 100 g de suelo seco al aire y colóquelo en una capa de dispersión (50 g para suelos corrientes y 100 g si se observa arenoso). Agregue agua destilada o corriente hasta unos 6 cm del borde de la copa. Agregue 10 a 30 ml de la solución de hexametáfosfato y carbonato de sodio que se preparo como se indica a continuación: 35.7 g de Hexametáfosfato de sodio mas 7.94 g de Carbonato de Sodio, se llevan a un litro.

Agite en la máquina dispersora durante 10 a 15 minutos. Al final de la dispersión transfiera con la ayuda de un frasco lavador todo el contenido a una probeta de 1000 CC. Complete con agua destilada hasta la marca indicadora de 800 cc, teniendo cuidado que el hidrómetro este dentro de la suspensión al obtenerse la marca indicada. Como lo más frecuente es usar 50 g de suelo, se utilizan probetas de 1000 cc.

Retire el hidrómetro y agite la suspensión tapando fuertemente la probeta, volteándolo de arriba para abajo y viceversa durante 30 segundos. Coloque rápidamente la probeta en la mesa y anote la hora. Es posible facilitar la agitación con una platina perforada y de diámetro ligeramente menor que el de la probeta que lleva soldado en su centro un alambre grueso o varilla delgada de una longitud superior a la de la probeta. Subiendo y bajando esta platina con algún cuidado (unas 10 veces) se consigue una buena agitación. A los 20 segundos inserte cuidadosamente el hidrómetro. A los 40 segundos haga la primera lectura. Tome la temperatura de la suspensión. A las dos horas tome nuevamente la lectura del hidrómetro y la temperatura. Calcule los porcentajes de

arena, limos y arcillas, y mediante el triángulo textural determine el nombre textural.

En el caso de analizar los suelos volcánicos (como los de las regiones cafetaleras) que también se conocen como andosoles (son ricos en materia orgánica, arcillas amorfas (Alófana) y óxido de hierro) es necesario usar un dispersante diferente. Se recomienda usar el Pirofosfato de Sodio al 8% en la cantidad de 20 cc.

La naturaleza de alófana, es indicativo de la naturaleza volcánica de los suelos y se puede reconocer por un método cualitativo que consiste en usar una solución de fluoruro de sodio a pH 9.4 y fenoftaleína al 1%. El procedimiento consiste en humedecer recortes de papel filtro con la solución de fenoftaleína al 1%. Se deja secar. Se coloca un pequeño terrón del suelo sobre el papel filtro y se agregan al terrón dos o tres gotas de la solución de fluoruro de sodio. Si el papel filtro desarrolla una tonalidad rojiza es indicativo de la presencia de material alófana en la muestra.

Si el agente cementante es el CaCO_3 (Suelos Calcáreos, salinos etc) se reconoce fácilmente agregando a una muestra del suelo unas gotas de la solución de HCl al 10%. La fuerte efervescencia es indicativo de la liberación de CO_2 y en estos suelos se recomienda lavar la muestra de suelo con una solución diluida de ácido clorhídrico antes de agregar el dispersante.

Cálculos

Corrección de la lectura del hidrómetro. En caso de ser la temperatura superior a 67°F multiplique los grados que excedan a esta por el factor 0.2 y agréguelos a la lectura inicial del hidrómetro. Si la temperatura es inferior a 67°F multiplique los grados que faltan por el mismo factor y réstelos a la lectura inicial del hidrómetro.

$$\text{Formula. } ^\circ\text{C} = (\text{F}^\circ - 32) \times \frac{5}{9}$$

$$\text{F}^\circ = 9/5 \times \text{C}^\circ + 32 = \text{factor} = 0.2$$

Porcentaje de arena

$$\frac{1a \text{ Lectura corregida} \times 100}{\text{peso de la muestra}} = \text{material en suspensión}(\%)$$

%Arena = 100 - (%)material suspensión

Porcentaje de arcilla

$$\frac{2a \text{ Lectura corregida} \times 100}{\text{peso de la muestra}} = \text{arcilla}(\%)$$

Porcentaje de limos

$$(\%)Limos = 100 - (\%arena + \%arcilla)$$

V. FUNDAMENTO Y COMPONENTES DE LA RECOMENDACIÓN DE FERTILIZANTES

5.1 PRINCIPIOS GENERALES Y FACTORES DE RECOMENDACIÓN

El objeto de la fertilización es el de obtener el mayor rendimiento posible con un mínimo de trabajo y costo, incluyendo el del fertilizante, este postulado supone que la recomendación debe realizarse teniendo como meta la consecución de estos fines.

La obtención de los máximos rendimientos con el mínimo de fertilizantes, supone conseguir un máximo de eficiencia, en la fertilización y el que esto ocurra dependerá, en gran parte, de que la recomendación sea acertada. A su vez, el acierto en la fertilización dependerá de cuan justamente se hayan estimado los factores que determinan los componentes de la recomendación.

Así Fried y Broeshart plantean que la cantidad de fertilizantes que debe aplicarse esta definida por la concurrencia de los siguientes factores en la ecuación:

$Q=f(s,p,n,i,e,m) c$, en donde:

Q:cantidad de fertilizante a aplicarse.

s:disponibilidad del nutrimento en el suelo

p:requerimiento del nutrimento por la planta.

n:naturaleza o tipo del fertilizante

i:interacción del fertilizante con el suelo

e:época de aplicación

m:método o sistema de aplicación

c:costo de la aplicación

Algunos de los factores de la ecuación son claros que estarán relacionados unos con otros. Así por ejemplo, la interacción del fertilizante con

el suelo (solubilización, fijación, lixiviación, inmovilización y volatilización) dependerá de la naturaleza y tipo del fertilizante de la época de aplicación y del sistema de aplicación. Esta circunstancia explica el hecho de que para conseguir una óptima recomendación de fertilizantes en una localidad dada se requiera una experimentación extensiva.

5.1.1 COMPONENTES DE LA RECOMENDACIÓN

La recomendación de los fertilizantes no se limita únicamente a la cantidad a aplicarse, sino que debe contemplar otros componentes no menos importantes. Globalmente, los componentes de una recomendación racional de fertilizantes son: cantidad, tipo de fertilizante, época de aplicación y sistema de aplicación, las cuales se discuten brevemente a continuación:

Cantidad o dosis del nutrimento

Este componente se refiere a la cantidad de nutrimento a aplicarse por unidades de superficie, lo cual técnicamente se conoce con la denominación de dosis.

Las dosis de aplicación pueden aplicarse de diferentes maneras, tales como:

- (a) Kg/ha
- (b) Ton/ha
- (c) Kg/plaza
- (d) Lb/acre
- (e) Kg/fanegada

Este componente de la recomendación da respuesta a la pregunta: ¿cuánto fertilizante se debe aplicar?

5.1.2 TIPO Y FUENTE DE FERTILIZANTE

Se refiere a la recomendación del compuesto o fuente comercial más adecuado para las condiciones del suelo, planta, clima, tomando naturalmente en cuenta la disponibilidad de la misma en el comercio de la localidad y responde a la pregunta: ¿qué aplicar?

En términos generales, el tipo de fertilizantes puede encajar en uno de los dos grupos siguientes:

- (a) Fuentes individuales: se refieren a aquellos componentes que normalmente solo son portadores de uno o dos nutrimentos. Su uso hoy día es limitado a aquellos casos en donde los requerimientos de fertilización se limitan a uno o máximo dos nutrimentos o también cuando las condiciones específicas del suelo y/o clima exija el uso de una fuente en particular.
- (b) Formulas compuesta: son aquellas fuentes fertilizantes que como mínimo contienen los nutrimentos NPK en proporciones variables. En razón de la economía de la aplicación el uso de este tipo de fertilizantes se ha generalizado.

5.1.3 EPOCA DE LA APLICACIÓN

Este componente se refiere al tiempo o momento en el transcurso del desarrollo del cultivo, en que es conveniente realizar la aplicación. En general se identifican las siguientes épocas:

- (a) antes de la siembra
- (b) en la siembra
- (c) después de la siembra

Este componente de la recomendación responderá a la pregunta de: ¿cuándo aplicar?

5.1.4 SISTEMA DE APLICACIÓN

Este componente responde a la pregunta de cómo aplicar y se refiere a los diferentes métodos que existen para adicionar el fertilizante al suelo o a la planta.

Cuando el fertilizante se coloca directamente en contacto con la planta, el método que obviamente se utiliza es el de la fertilización foliar, desde luego, las aplicaciones foliares se hacen en liquido y una vez al cultivo, ya se ha desarrollado, las aplicaciones al suelo pueden hacerse antes o después de la siembra, y siempre o casi siempre, se hace en

sólido, dependiendo de la manera como se adicione el fertilizante, las aplicaciones serán superficiales o localizadas a mayor o menor profundidad en el suelo.

5.2 LOS NUEVOS OBJETIVOS DE LA RECOMENDACIÓN DE FERTILIZANTES

Tal como se anuncio inicialmente es objeto de la fertilización: obtener los máximos rendimientos con el mínimo costo.

No obstante la tendencia actual tiende a generar un modelo tecnológico en el cual los objetivos o metas de la fertilización se definen o identifican con lo siguiente:

- (a) Rendimientos altos o sostenidos
- (b) Costos mínimos
- (c) Sustitución hasta donde sea posible, de fertilización, por prácticas agronómicas que tiendan a utilizar eficientemente las fuentes naturales de los elementos en el suelo y en la atmósfera.
- (d) Mejoramiento de la calidad del producto.

5.2.1 PRACTICA DE LA RECOMENDACIÓN DE FERTILIZANTES

5.2.1.1 Necesidades de fertilizantes y factores que inciden

La ecuación de Fried y Broeshart que relaciona la cantidad de fertilizantes o nutrimentos a aplicarse, con los factores incidentes puede simplificarse en la siguiente forma:

$Q(s,p,Pp,E)C$, en donde:

Q: cantidad o dosis del nutrimento a aplicarse

s: nivel de disponibilidad del nutrimento en el suelo

p: requerimiento nutricional de la planta para el elemento dado

Pp: potencial de producción del cultivo

E: eficiencia de la fertilización

c: costo y rentabilidad de la aplicación

La cantidad o dosis del nutrimento a aplicarse viene dada de acuerdo a los niveles de los diferentes elementos analizados en el análisis químico del suelo.

La disponibilidad del nutrimento. Este factor es determinado en el laboratorio mediante análisis químico que debe utilizar una solución extractora adecuada de la fracción disponible de cada uno de los nutrimentos.

5.2.2 REQUERIMIENTO NUTRICIONAL DE LA PLANTA

Es otro de los factores que directamente inciden en la cantidad de nutrimento que debe adicionarse al suelo para obtener un buen desarrollo del cultivo. Es conocido, a este respecto, que las diferentes especies de cultivos no tienen las mismas necesidades nutricionales para cumplir su ciclo vegetativo a cabalidad.

5.2.3 POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DEL CULTIVO

Es uno de los factores que es poco o nada tomado en cuenta para las recomendaciones de fertilización a los cultivos.

Sobre la base de lo anterior las dosis de recomendación de fertilizantes dependerá, también, del potencial de producción o rendimiento del cultivo. Este potencial dependerá, a partir del nivel de disponibilidad nutricional en el suelo, de varios factores que son:

Potencial genético, productividad del cultivo, condiciones climáticas, nivel de tecnología aplicada al cultivo, eficiencia de la fertilización, pérdida de nutrimento, lixiviación, pérdida por formas de gases, fijación de nutrimentos e inmovilización.

TABLA No. 22

REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE DIFERENTES CULTIVOS PARA ALCANZAR BUENOS RENDIMIENTOS* CEREALES-TUBERCULOSAS-HORTALIZAS-LEGUMINOSAS Y PASTOS

Cultivo	Requerimientos nutricional (Kg/Ha/cosecha)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Cebada	70	14	60	15	8	10
avena	80	15	90	17	20	20
trigo	85	15	45	13	10	12
arroz	90	10	60	10	7	-
maíz	170	30	60	23	25	20
papa	220	20	240	60	20	12
yuca	210	40	480	150	-	-
zanahoria	210	20	260	180	15	-
nabo	140	15	85	55	17	13
patata	6	2	25	2	3	3
remolacha	70	10	85	30	20	8
tomate	175	25	275	150	25	22
esparrago	20	3	10	1	-	3
cebolla	85	20	80	40	-	20
repollo	175	30	165	120	-	40
espinaca	100	15	70	30	-	-
coliflor	200	35	210	40	-	-
alfalfa	170	20	120	175	15	20
trebol rojo	140	15	90	100	25	10
maní	150	10	70	70	-	-
soya	125	20	55	30	18	10
haba	110	10	70	90	-	-
frijol	105	10	105	70	10	-
pasto de corte**	350	70	400	110	70	80

*Adaptado de Fried de Broeshart

** Según Chandler. Datos en Kg/Ha/año

TABLA No. 23

REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE DIFERENTES CULTIVOS
PARA ALCANZAR BUENOS RENDIMIENTOS* INDUSTRIALES-PERENNES

Cultivo	Requerimientos nutricional (Kg/Ha/cosecha)				
	N	P	K	Ca	Mg
tabaco	120	25	200	80	-
piña	150	55	480	110	60
algodón	150	40	130	-	-
caña de azucar	145	40	210	120	110
banano	60	10	165	10	15
manzano	120	15	130	-	-
pera	155	30	200	-	-
durazno	85	10	70	85	-
cafeto***	70	12	115	-	-
cacao**	100	20	200	5	-
palma-coco	85	20	155	25	-
palma-aceite	90	10	110	25	-
naranja	240	25	165	220	-
limon	180	25	155	200	-
te	65	10	30	-	-
caucho	420	26	160	-	-
fique	122	20	150	-	-

*Adaptado de Fried de Broeshart

** Para un rendimiento de 1 Ton/Ha de mazorca, según Omotoso

***Para un rendimiento de 2300 Kg/Ha de Café-cereza, según Ortiz

TABLA No. 24

REQUERIMIENTOS RELATIVOS DE ELEMENTOS MENORES PARA DIFERENTES CULTIVOS*

A: ALTO, M: MEDIO, B:BAJO

Cultivo	Requerimientos nutricional relativo					
	Zn	Fe	Mn	Mo	Cu	B
cebada	M	A	M	B	A	B
avena	B	M	A	M	A	B
trigo	B	B	A	B	A	B
arroz	M	A	M	B	B	B
maíz	A	M	B	B	M	B
sorgo	A	A	A	B	M	B
pastos	B	A	B	B	B	B
papa	M	-	M	B	B	B
zanahoria	B	-	M	B	A	M
remolacha	M	A	A	M	A	A
tomate	M	A	M	M	M	M
esparrago	B	M	B	B	B	B
repollo	-	M	M	M	M	M
espinaca	-	A	A	A	A	M
coliflor	-	A	M	A	M	A
apio	-	-	M	B	M	A
pepino	-	-	A	-	M	B
lechuga	-	-	A	A	A	M
alfalfa	B	M	M	M	A	A
treboles	M	-	M	A	M	M
soya	M	A	A	M	B	B
frijol	A	A	A	B	B	B
arveja	B	-	A	M	B	B
algodón	A	-	-	B	M	M
naranja	A	A	A	M	A	B
manzano	A	-	A	B	M	A
durazno	A	-	A	B	M	M
vid	B	A	A	B	-	M
fresa	-	A	A	-	M	M

* Adaptado de Lucas y Knexek

TABLA No. 25

RENDIMIENTOS ALTOS Y MEDIOS PARA DIFERENTES CULTIVOS EN COLOMBIA BAJO
CONDICIONES COMERCIALES

Cultivo	Region	Rendimiento (Ton/Ha)	
		Alto	Medio
Maiz	Valle del Cauca	5,0	3,5
	Llanos Orientales	3,0	2,0
sorgo	Valle del C-Tolima	3,5	2,5
	Llanos Orientales	2,5	1,5
arroz-riego	Tolima-Huila	6,0	5,0
	Llanos Orientales	5,0	4,0
soya	Valle del Cauca	2,0	1,5
	Llanos Orientales	1,5	1,0
frijol(arbolito)	Valle del Cauca	1,5	0,5
algodón	Tolima-Valle del Cauca-Costa		
	Atlántica	2,0	1,5
	Llanos Orientales	1,5	1,0
maní	Tolima	2,0	1,0
yuca	-	20,0	10,0
tabaco	-	2,0	0,8
café	Zonas Cafeteras	300 arrobas Ha/año	50 arrobas Ha/año
cacao	-	1,0	0,4
caña panelera	Zonas de ladera	3,0 Ton panela por corte	1,5 Ton panela por corte
banano	Uraba	20,0	15,0
cebada	Boyaca-Cundimarca -Nariño	2,0	1,2
trigo	Boyaca-Cundimarca -Nariño	3,0	1,2
papa	Boyaca-Cundimarca -Nariño	20,0	10,0

TABLA No. 26

FACTORES DE CONVERSIÓN DE PPM Y ME/100 G A KG/HA PARA DIFERENTES VALORES DE DENSIDAD APARENTE

Densidad Aparente (g/cm ³)	Para Hectárea de 15 cm de profundidad				Para Hectárea de 20 cm de profundidad			
	ppm a Kg/Ha	Me/100 g a Kg/Ha multiplicar por			ppm a Kg/Ha	Me/100 g a Kg/Ha multiplicar por		
		K	Ca	Mg		K	Ca	Mg
0,50	0,75	292,5	150	90	1,0	390	200	120
0,60	0,90	351,0	180	108	1,2	468	240	144
0,70	1,05	409,5	210	126	1,4	546	280	168
0,80	1,20	468,0	240	144	1,6	624	320	192
0,90	1,35	526,5	270	162	1,8	702	360	216
1,00	1,50	585,0	300	180	2,0	780	400	240
1,10	1,65	643,5	330	198	2,2	858	440	264
1,20	1,80	702,0	360	216	2,4	936	480	288
1,30	1,95	760,5	390	234	2,6	1014	520	312
1,40	2,10	819,0	420	252	2,8	1092	560	336
1,50	2,25	877,5	450	270	3,0	1170	600	360

VI. CUNTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES DE FERTILIZACIÓN (NF)

Una vez establecidos los parámetros determinantes de las necesidades de fertilización a saber:

S: disponibilidad de nutrimento en el suelo (Kg/Ha)

Ppc: requerimientos nutricionales del cultivo, ponderados para su potencial de producción (Kg/Ha)

E: eficiencia de la fertilización (%)

Resultara relativamente sencillo cuantificar las necesidades de fertilización.

En efecto resulta lógico deducir que, sin tomar en cuenta la eficiencia, las necesidades de fertilización estarán dadas por la diferencia entre los requerimientos nutricionales ponderados de los cultivos (Ppc) y la disponibilidad del nutrimento en el suelo (S). Es decir:

$$NF = Ppc - S$$

Al tomar en cuenta la deficiencia de la fertilización tendremos que tan solo una parte del nutrimento aplicado es aprovechado por el cultivo, si por ejemplo, la deficiencia de la fertilización se estima en 70%, esto significara que cada 100 Kg de nutrimento aplicado solamente 70 Kg serán aprovechados por el cultivo. Por tanto, se podrá establecer la siguiente relación:

Nutrimento Aplicado

100 Kg/Ha

NF

Nutrimento Aprovechado

70 (E)

(Ppc - S)

de donde:

$$NF \text{ (Kg/Ha)} = \frac{(Ppc - S)}{E} \times 100 \text{ en donde:}$$

NF: necesidades de fertilización (Kg/Ha)

Ppc: requerimiento nutricional del cultivo ponderado para su potencial de producción (Kg/Ha)

S: disponibilidad del nutrimento en el suelo (Kg/Ha)

E: eficiencia de la fertilización (%)

6.1 EJEMPLO DE CALCULO DE LAS NECESIDADES DE FERTILIZACIÓN

Se trata de recomendar fertilizantes a un agricultor considerado como mediano, desde el punto de vista de su nivel tecnológico. La finca esta localizada en las inmediaciones de Villavicencio. La temperatura promedio de la región es 26°C y la precipitación promedio anual es de 3000 ml. El cultivo proyectado es maíz, del cual se sembraran 5 hectáreas. El suelo es coluvial y sus características fisicoquímicas determinadas en el laboratorio son las siguientes:

Textura	FA
M.O. (%)	2.0
C.I.C. (meq/100 g)	10
N-disponible (ppm)	10
P-aprovechable (ppm)	2.0
K-cambiable (meq/100 g)	0.02
Ca-cambiable (meq/100 g)	2.0
Mg-cambiable (meq/100 g)	1.0
Al-cambiable (meq/100 g)	1.0
pH(agua)	5.6
Cap. Fija fosfatada (%)	80
Densidad aparente (g/cc)	1.2

Procedimiento

6.1.1 CUANTIFICACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD NUTRICIONAL (S)

Para ello bastara convertir ppm y meq/100 g a Kg/Ha utilizando los factores de conversión dado en la tabla 26 para la densidad aparente del suelo (1.2 g/cc).

N: $10 \times 1.8 = 18 \text{ Kg/Ha} = \text{SN}$
 P: $2 \times 1.8 = 4 \text{ Kg/Ha} = \text{Sp}$
 K: $0.02 \times 702 = 14 \text{ Kg/Ha} = \text{Sk}$
 Ca: $2 \times 360 = 720 \text{ Kg/Ha} = \text{SCa}$
 Mg: $1 \times 2.16 = 2.16 \text{ Kg/Ha} = \text{SMg}$

6.1.2 CUANTIFICACIÓN REQUERIMIENTO NUTRICIONAL DEL CULTIVO PARA SU POTENCIAL DE PRODUCCIÓN (PPC)

De acuerdo con la tabla 22 los requerimientos nutricionales del maíz para un alto rendimiento son:

N: 170 Kg/Ha
 P: 30 Kg/Ha
 K: 60 Kg/Ha
 Ca: 23 Kg/Ha
 Mg: 25 Kg/Ha

Según la tabla 25 para las condiciones de los llanos, un agricultor "mediano" puede producir 2 toneladas de hectárea. De la misma tabla se obtiene el dato de que un alto rendimiento de maíz puede considerarse 5 toneladas por hectárea. Por lo tanto los requerimientos nutricionales ponderados se calcularán de la siguiente forma:

Nitrógeno

5 Ton/Ha	170 Kg/Ha
2 Ton/Ha	X

$$X = (170 \times 2) / 5 = 160 \text{ Kg/Ha de Nitrógeno}$$

Fósforo

5 Ton/Ha	30 Kg/Ha
2 Ton/Ha	X

$$X = (30 \times 2) / 5 = 12 \text{ Kg/Ha de fósforo}$$

Potasio

5 Ton/Ha	60 Kg/Ha
2 Ton/Ha	X

$$X = (60 \times 2) / 5 = 24 \text{ Kg/Ha de potasio}$$

Calcio

5 Ton/Ha

23 Kg/Ha

2 Ton/Ha

X

$$X = (23 \times 2) / 5 = 9 \text{ Kg/Ha de Calcio}$$

Magnesio

5 Ton/Ha

25 Kg/Ha

2 Ton/Ha

X

$$X = (25 \times 2) / 5 = 10 \text{ Kg/Ha de magnesio}$$

En consecuencia los requerimiento nutricionales ponderados serán:

N: 68 Kg/Ha = Ppc (N)

P: 12 Kg/Ha = Ppc (P)

K: 24 Kg/Ha = Ppc (K)

Ca: 9 Kg/Ha = Ppc (Ca)

Mg: 10 Kg/Ha = Ppc (Mg)

6.1.3 CUANTIFICACIÓN EFICIENCIA DE LA FERTILIZACIÓN

Nitrógeno

Dada las condiciones de textura, precipitación pluvial y condiciones de pH y drenaje del suelo, se puede asumir que un 40% del nitrógeno aplicado se puede perder por lixiviación, siempre que se aplique una fuente amoniacal o uria. Por tanto, la eficiencia de la fertilización nitrogenada, para este caso se puede aproximar a 60%.

Fósforo

Puesto que la capacidad de fijación de fosfato se ha estimado en 80% la eficiencia de la fertilización fosfatada se aproximara a 20%.

Potasio

Dada la C.I.C. relativamente baja y las condiciones de precipitación pluvial, se puede asumir que la eficiencia de la fertilización potásica se aproximara al 60%.

Por tanto,

$$E_N = 60\%$$

$$E_P = 20\%$$

$$E_K = 60\%$$

6.1.4 CUANTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES POR LIXIVIACIÓN

Con base en los datos anteriores se puede ya calcular las necesidades estimadas de fertilización, aplicando la fórmula:

$$NF = \frac{(Ppc - S)}{E} \times 100$$

$$NF_N = \frac{(Ppc(N) - S_N)}{E_N} \times 100 = \frac{68 - 18}{60} \times 100 = NF_N = 83 \text{Kg/Ha}$$

$$NF_P = \frac{(Ppc(P) - S_P)}{E_P} \times 100 = \frac{12 - 4}{20} \times 100 = NF_P = 40 \text{Kg/Ha}$$

$$NF_K = \frac{(Ppc(K) - S_K)}{E_K} \times 100 = \frac{24 - 14}{60} \times 100 = NF_K = 16 \text{Kg/Ha}$$

Puesto que para Ca y Mg los valores de disponibilidad en el suelo son mucho mayores que los requerimientos nutricionales del cultivo, ponderados para su potencial de producción (Ppc), sus respectivos valores de NF serán negativos y en consecuencia, no habrá necesidad de fertilizar con otros nutrientes.

No obstante, con respecto a Ca y Mg, hay que tomar en cuenta el hecho de que, eventualmente, el método de extracción utilizado para determinar Ca y Mg disponible (cambiable) puede estar dando una sobre-estimación de las cantidades disponibles en el suelo. De otra parte cuando la saturación de Ca y Mg se diagnostica como: Ca, menos de 15%; Magnesio, menos del 6%, será necesario subir estas saturaciones a niveles adecuados mediante enclavamiento y fertilización con Mg, sin importar que nivel de disponibilidad en el suelo supere los requerimientos ponderados del cultivo. Para el caso que nos ocupa, la saturación de Ca es de 20% y la del Mg es del 10%, por tanto no habrá que aplicar Ca y Mg, ni por el primer criterio, ni por el de saturación.

Otro aspecto que será necesario tomar en cuenta con respecto al Ca, es el relacionado a su aplicación como enmienda (encalado), para corregir la toxicidad por Al. Tampoco este será el caso del ejemplo puesto, que la saturación de Al en el suelo es de solamente 10%.

En síntesis, las necesidades de fertilización para el ejemplo que se está desarrollando serán:

N : 83 Kg/Ha

P : 40 Kg/Ha

K : 16 Kg/Ha

6.2 RECOMENDACIÓN DE FUENTES FERTILIZANTES

Para recomendar fuentes se deberá siempre tener en mente un objetivo: "alcanzar el máximo de eficiencia en la fertilización". De tal suerte que la escogencia de fuente deberá hacerse tomando en consideración los factores que afectan la eficiencia y, con relación a ello, las características del compuesto fertilizante.

6.3 SELECCIÓN DEL GRADO DE FERTILIZANTE Y CÁLCULO DE LA CANTIDAD A APLICARSE

El grado de fertilizante a recomendar dependerá de las necesidades de fertilización estimadas (NF). El grado fertilizante se expresa en términos de porcentaje de N, P_2O_5 y K_2O contenidos en el material. Así, una fórmula 10-20-20 indicara que ese fertilizante contiene: 10% de N, 20% de P_2O_5 y 20% K_2O .

Nótese que en tanto el contenido de N en el fertilizante se expresa en términos de N, el contenido de P se expresa en términos de P_2O_5 y de K en términos de K_2O . Por esta razón antes de proceder a la escogencia de fórmula, será necesario convertir las necesidades de fertilización de fósforo y potasio, en términos de P y K, a equivalentes de P_2O_5 y K_2O , respectivamente. Esta operación resulta sencilla:

P_2O_5	P	
142	62	
X	1	$P_2O_5 = Px(142/62) = Px2.29$
		Ósea que $P_2O_5 = Px2.30$

K_2O	K	
94	78	
X	1	$K_2O = Kx(94/78) = Kx1.20$
		Ósea que $K_2O = Kx1.20$

Una vez hecha la conversión de P a P_2O_5 y de K a K_2O , ya se podrá seleccionar el grado más adecuado para las necesidades de fertilización estimadas.

Ejemplo,

Del ejemplo que se desarrollo para ilustrar la cuantificación de las necesidades de fertilización se llegó a las siguientes necesidades:

N : 83 Kg/Ha		N : 83 Kg/Ha
P : 40 Kg/Ha	equivalente a	P_2O_5 : 92 Kg/Ha
K : 16 Kg/Ha	equivalente a	K_2O : 19 Kg/Ha

Redondeando números, las necesidades de fertilización para las condiciones del ejemplo serían:

N : 80 Kg/Ha
P_2O_5 : 90 Kg/Ha
K_2O : 20 Kg/Ha

Estos requerimientos, se ajustan a una relación 4-4.5-1. Es decir:

Necesidad de Fertilizantes		Relación	Grados adecuados		
N	80	4	40	20	10
P_2O_5	90	4.5	45	22	11
K_2O	20	1.0	10	5	2

Sin embargo, ninguno de los grados establecidos 40-45-10, 20-22-5, ó 10-11-2 se encuentran fácilmente en el mercado de los fertilizantes completos tabulados. Por tanto, habrá que optar por preparar la fórmula ó, lo que es más sencillo, utilizar el grado comercial que más se acerque y completar los posibles déficits con fuentes individuales.

En este caso el grado que más coincide con los requerimientos de fertilización es 20-20-0 o el 13-26-6. Si optamos por el 13-26-6 la cantidad de fertilizante que debe aplicarse se calculará así:

Fórmula: 13-26-6

100 Kg fertilizante	26 Kg P_2O_5
X	90 Kg P_2O_5

$$X = 90 \times (100/26) = 346 \text{ Kg de fertilizante}$$

Ósea que para satisfacer las necesidades de fertilización de P (90 Kg/Ha de P_2O_5), se requiere aplicar 346 Kg/Ha del fertilizante 13-26-6. Ahora habrá que establecer cuanto N y K_2O están aplicando en los 346 Kg. de fertilizante.

100 Kg fertilizante	13 Kg de N
346 Kg fertilizante	X

$$X = 346 \times 13 / 100 = 44.9 \text{ Kg de N}$$

100 Kg fertilizante	6 Kg de K_2O
346 Kg fertilizante	X

$$X = 346 \times 6 / 100 = 20.7 \text{ Kg de } K_2O$$

Por tanto al aplicar al suelo una dosis 13-26-6 equivalente a 346 Kg/Ha se estará adicionando:

N : 45Kg/Ha	80 Kg/Ha
P_2O_5 : 90 Kg/Ha frente a las necesidades	90 Kg/Ha
K_2O : 20 Kg/ha	20 Kg/Ha

En consecuencia, las necesidades de P y K habrán sido satisfechas plenamente al aplicar los 346 Kg/Ha de 13-26-6, pero quedara faltando una aplicación de $80-15 = 35$ Kg/Ha de N para satisfacer las necesidades de fertilización de este elemento. Para completar las necesidades de Nitrógeno, se podrá entonces aplicar un reabonamiento con 35 Kg/Ha de N que puede ser en forma de úrea. La cantidad de úrea necesaria será:

100 Kg de úrea	46 Kg N
X	35 Kg N

$X = 35x (100/46) = 76 \text{ Kg de úrea por hectárea.}$

Por tanto, el plan de fertilización para satisfacer las necesidades será:

Fertilizante	Kg/Ha	Bultos / ha	Época de aplicación
13 - 26 - 6	346	7	Momento de siembra
46 - 0 - 0	76	1.5	Cuando las plantas de maíz tenga 50 cm de altura

Desarrollando este plan de fertilización se habrá satisfecho las necesidades de fertilización en su totalidad, tal como lo demuestran las siguientes cifras:

TABLA No. 27

NECESIDADES DE FERTILIZACIÓN Y CANTIDAD DE NUTRIMENTO APLICADO

	Necesidades de fertilización en Kg/Ha	Cantidad de nutrimento aplicado en 346 Kg/Ha de 13-26-6	Cantidad de nutrimento aplicado en 76 Kg/Ha de Urea	Cantidad total de nutrimento aplicado
N	80	45	35	80
P ₂ O ₅	90	90	0	90
K ₂ O	20	20	0	20

En la misma forma se procederá si se opta por utilizar un grado 20-20-0, pero en este caso quedara un déficit de K (20 kg /Ha de K₂O) que será necesario suplirlo aplicando cloruro de potasio. En este caso, habrá que aplicar 40 kg/Ha de 20-20-0, lo que corresponderá a una aplicación de 80 Kg/Ha de N y 80 Kg/Ha de P₂O₅. Quedará así un déficit de 20 Kg/Ha de K₂O que se llenara aplicando 33 Kg/Ha de KCl (60% de K₂O) y un déficit de 10 Kg/Ha de P₂O₅ que se llenara aplicando 70 kg/Ha de Calfos (14% de P₂O₅). Esta aplicación de Calfos será muy útil tratándose de un suelo, que como el del ejemplo que nos ocupa es relativamente ácido. El Calfo habría que aplicarlo en razón de su baja solubilidad bien mezclado con el suelo y 15 a 30 días antes de la siembra.

A esta altura de la discusión, es necesario recalcar que el procedimiento señalado para el cálculo de las necesidades de fertilización es eminentemente estimativo y, por tanto, de manera alguna podrá considerarse como infalible, pues esta demostrando que el requerimiento de

fertilizante por determinado cultivo es el resultado de complejas interacciones de múltiples factores.

A este respecto, se considera indispensable, que el técnico una vez estimadas las necesidades de fertilización mediante el procedimiento descrito, las confronte con las recomendaciones que da el Instituto Colombiano Agropecuario para los diferentes cultivos en Colombia, realizando, si es del caso, los ajustes pertinentes pues no hay que desconocer que ellas son frutos de años de esfuerzo investigativo.

Tabla No. 27

NECESIDADES DE FERTILIZACIÓN Y CANTIDAD DE NUTRIENTES APLICADOS

Cantidad total de nutrientes aplicados	Cantidad de nutrientes aplicados en kg/ha de tierra	Cantidad de nutrientes aplicados en 450 kg/ha de 1:1-20-8	Necesidades de fertilización en kg/ha	
2000	20	40	30	N
1000	0	0	30	P ₂ O ₅
50	0	30	30	K ₂ O

El método de estimación de las necesidades de fertilización se basa en el análisis de los nutrientes que se encuentran en el suelo y en el cultivo. Se debe tener en cuenta que el suelo puede tener una gran cantidad de nutrientes, pero que no todos están disponibles para el cultivo. Por lo tanto, es necesario aplicar fertilizantes para complementar los nutrientes que faltan. El método de estimación de las necesidades de fertilización se basa en el análisis de los nutrientes que se encuentran en el suelo y en el cultivo. Se debe tener en cuenta que el suelo puede tener una gran cantidad de nutrientes, pero que no todos están disponibles para el cultivo. Por lo tanto, es necesario aplicar fertilizantes para complementar los nutrientes que faltan.

A esta altura de la discusión, es necesario recordar que el propósito de este estudio es determinar las necesidades de fertilización de los cultivos de la zona. Para ello se han realizado análisis de suelos y de cultivos, y se han determinado las cantidades de nutrientes que se necesitan aplicar. Los resultados de estos análisis se presentan en la tabla adjunta. Como se puede ver, las necesidades de fertilización son altas, lo que indica que los suelos de la zona son muy pobres en nutrientes. Por lo tanto, es necesario aplicar fertilizantes para complementar los nutrientes que faltan.

VII. SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE SITIOS PARA LA SIEMBRA DE FRUTALES ARBÓREOS

Para el establecimiento de frutales es definitivo seleccionar adecuada y concienzudamente el lote. Un error en la selección de este solo se refleja después de dos o más años de establecimiento, cuando generalmente ya no se pueden tomar buenas decisiones para el control de cualquier factor limitante de la producción. Por otro lado, los errores cometidos en este aspecto conducen a la pérdida de tiempo, de inversión y a la desmoralización del fruticultor.

La selección del sitio debe incluir:

- Un sitio de los factores del clima que influyan directamente en una máxima actividad fotosintética, energía radiante, evapotranspiración, balance de agua, requerimientos hídricos, temperatura, vientos, posición del sol en la mañana y en la tarde, etc. Así se podría diagnosticar la capacidad productiva del medio ambiente en que se establecerá el huerto.
- La caracterización del terreno, evaluada por la presencia de valores fisiográficos relacionados con el grado y la longitud de la pendiente, con la presencia de depresiones, de áreas de inundación, de baja infiltración, etc. La evaluación acertada de estas características que inicialmente pueden ser limitantes, permitirá adoptar los correctivos necesarios para que dejen de hacerlo y se pueda establecer un buen cultivo.
- La caracterización del perfil del suelo, por lo menos hasta 50 cm de profundidad. Para ello se requiere de la elaboración de cajuelas de 0.5x0.5x0.5 m, a largo y ancho del terreno, buscando un cubrimiento óptimo del lote donde se establecerá la plantación. La evaluación debe cubrir aspectos como la definición de la presen-

cia y profundidad de capas endurecidas o compactadas, la capacidad de drenaje y de aireación, la retención de humedad y de nutrientes, la profundidad efectiva real, la presencia de capas con altas concentraciones de sales y/o aluminio, la presencia de organismos activos, la profundidad de la materia orgánica, la presencia de capas de grava o piedras, etc.

Esta evaluación permite tomar decisiones concretas en aspectos relacionados con adecuación y preparación de suelos y con las dimensiones y tratamientos de los hoyos, para un buen establecimiento.

- Toma de muestra para el análisis químico y de fertilidad de suelos. Las muestras pueden tomarse a una misma profundidad en las diferentes cajuelas, por ejemplo:

0 -15; 15 - 30 y 30 - 50 cm, y mezclarse con las correspondientes a la misma profundidad de otras cajuelas, para formar una muestra compuesta y representativa. Lo anterior es válido solo si el perfil del suelo es uniforme a través del lote.

Si los perfiles cambian a través del lote, es necesario tomar muestras independientes y analizarlas por separado, teniendo el cuidado de esquematizar y marcar el área de influencia de cada perfil diferente.

Otra metodología de muestreo consiste en hacer un muestreo, ya no a unas profundidades preestablecidas, sino de acuerdo con la presencia, profundidad y disposición de los horizontes genéticos que presentan los suelos. Siempre debe evaluarse la profundidad con detenimiento y buscando el mejor cubrimiento de área.

La interpretación de los análisis químicos del suelo con detenimiento, permiten, conjuntamente con la evaluación física determinar las dimensiones de los hoyos y la aplicación correcta de enmiendas y suministro de nutrimentos como elementos mayores, secundarios y menores, para asegurar una buena producción y hacerla sostenible a través del tiempo.

En resumen puede afirmarse que el éxito de una plantación de frutales depende del acierto con que se analicen y comprendan los factores de clima, de propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos con detenimiento y extensión, y de la toma acertada de decisiones para solucionar cualquier factor limitante, siempre y cuando el potencial genético

del frutal sea de óptima calidad, lo cual, debe ser garantizado por el vivero donde el fruticultor adquiera las plantas.

Las evaluaciones deben ser efectuadas por profesionales capacitados conjuntamente con el agricultor interesado.

7.1 RECOMENDACIONES GENERALES PARA LA FERTILIZACIÓN DE FRUTALES ARBÓREOS

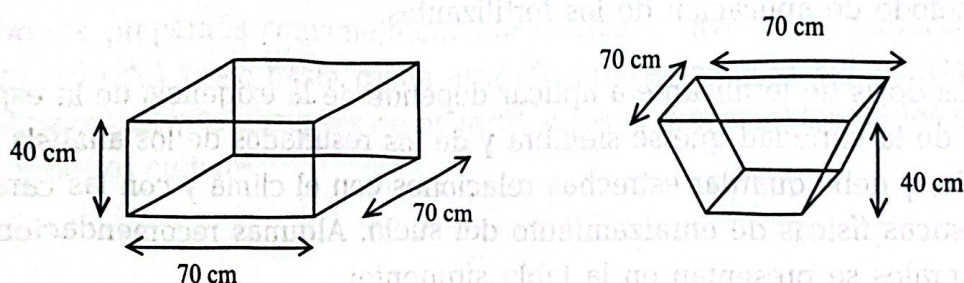
7.1.1 PREPARACIÓN DEL SITIO DE SIEMBRA.

Cualquiera que sea la decisión de manejo del lote que se tome, es necesario, después de demarcar con estacas los sitios donde deben quedar definitivamente las plantas, preparar física y químicamente el área de plateo donde posteriormente se desarrollaran las raíces del frutal.

Inicialmente se puede preparar un área de 1.5 m de diámetro, en el centro del cual se establecerá el hoyo, cuyas dimensiones pueden ser las siguientes 70 cm de ancho, 70 cm de largo por 40 cm de profundidad y cuya forma puede ser, además de rectangular o prismática, Figura 4.

FIGURA NO. 4

DIMENSIONES Y FORMAS DE LOS HOYOS PARA TRANSPLANTES DE FRUTALES ARBÓREOS



El llenado de los hoyos para aflojar el suelo del sitio de plantación y facilitar el desarrollo de las raíces, es necesario tratarlos con los correctivos y nutrientes necesarios, de acuerdo con el análisis del suelo.

El llenado del hoyo debe llevar la siguiente mezcla:

Suelo + gallinaza + enmienda + fertilizantes.

Si el suelo es ácido con detenimiento, es conveniente aplicar 50 gm de cal agrícola o dolomítica en el fondo del hoyo. Para neutralizar el exceso de aluminio que puede haber y promocionar la actividad de las raíces de anclaje. Posteriormente, el suelo extraído de las excavaciones se mezcla con dos o tres paladas de gallinaza descompuesta, fermentada por lo menos durante mes y medio, y con las enmiendas y los fertilizantes que indiquen las recomendaciones basadas en los análisis de suelo. Generalmente se pueden mezclar la gallinaza, 500g a 1 Kg de cal agrícola, más 250 a 750 g de un fertilizante compuesto y una mezcla balanceada de elementos secundarios y menores, de acuerdo a esos análisis. La decisión final debe tomarse con la asesoría de un técnico especializado. Llenado el hoyo con la muestra propuesta, es necesario dejar que la mezcla se fermente y homogenice durante 2 a 4 semanas al cabo de las cuales se revuelve y se procede a la siembra del arbolito. En el momento de la siembra se debe velar porque las raíces hagan un buen contacto con el suelo, el cual debe estar suficientemente húmedo o regarse inmediatamente después de la siembra. Este sistema de preparación de hoyos y de siembra augura un buen establecimiento y una posterior producción de frutales.

Dos o tres meses después de la siembra, es recomendable hacer una aplicación de N en forma de úrea, nitrato de amonio, nitrato de potasio, o de calcio, en dosis de 30-70 g de Nitrógeno, de acuerdo al muestreo a dos profundidades, permite conocer la capacidad de suministro de nutrientes por el suelo con detenimiento y deducir sobre la dosis, forma y método de aplicación de los fertilizantes.

La dosis de fertilizante a aplicar depende de la exigencia de la especie, de la variedad que se siembra y de los resultados de los análisis de suelo, y debe guardar estrechas relaciones con el clima y con las características físicas de enraizamiento del suelo. Algunas recomendaciones generales se presentan en la tabla siguiente:

El método de aplicación puede ser "al Voleo" o haciendo hoyos pequeños, en los cuales se incorporara el fertilizante para promocionar un buen y uniforme desarrollo de raíces. El método del voleo propicia la extensión de raíces superficiales y en toda el área de influencia de la fertilización; el método de hoyo pequeño propicia el crecimiento de raicillas con detenimiento y da aireación al suelo, por lo cual es conve-

TABLA No. 28

RECOMENDACIONES GENERALES ANUALES DEPENDIENTES SEGÚN EL ESTADO
DE DESARROLLO DEL FRUTAL

	Gramos/Planta
Cal	500 -3000
N	100 - 200
P ₂ O ₅	100 - 200
K ₂ O	150 - 300
Mg	20 - 30
ZnSO ₄ *	5 -25
CuSO ₄ *	5 - 10
MnSO ₄ *	10 - 20
FeSO ₄ *	20 - 50
Borax	- 20

*Igualmente puede emplear el equivalente en quelatos.

niente rotar los dos métodos semestrales con la exigencia de la especie que se siembre.

La aplicación de nitrógeno proporciona el crecimiento rápido del frutal y asegura el adecuado enraizamiento en el medio ya preparado con la mezcla.

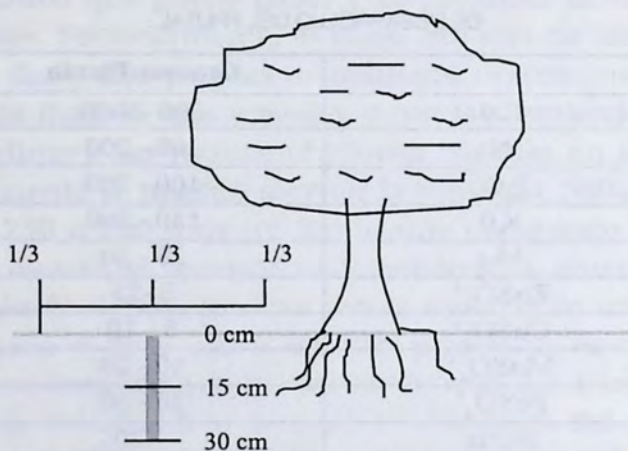
Como a medida que el árbol se desarrolla y crece, las raíces tratan de extenderse fuera del hoyo, es necesario ampliar el área de plateo, la cual debe ser preparada convenientemente mediante una limpia superficial, el picado del suelo hasta dicha área de aplicación y la aplicación de gallinaza, cal y fertilizantes de acuerdo a los requerimientos de los suelos y de los cultivos.

7.2 FRUTALES ESTABLECIDOS

Frutales establecidos, es necesario partir de un buen muestreo y del análisis de suelo para efectuar una conveniente fertilización. El muestreo debe hacerse a 2 profundidades: a 0 - 15 cm y 15 - 30 cm. Tomándose las muestras en el tercio medio del área de cubrimiento de la copa del árbol, tal como aparece en la figura 5:

FIGURA No. 5

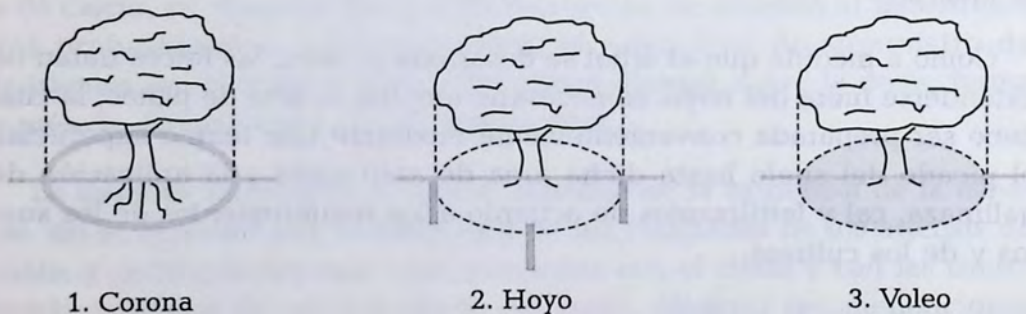
MUESTREO DE SUELOS EN FRUTALES ARBÓREOS ESTABLECIDOS



Otro criterio de muestreo puede ser el de efectuar un diagnóstico de la distribución de las raíces, haciendo el muestreo a las profundidades propuestas allí donde las raíces son más abundantes anualmente. La figura 6 ilustra los métodos de aplicación de los fertilizantes.

FIGURA No. 6

MÉTODOS DE APLICACIÓN DE LOS FERTILIZANTES



En frutales, es conveniente la aplicación de elementos mayores, secundarios y menores en forma foliar, cuando las deficiencias son manifiestas. En estos casos, es necesario asegurarse de cual es el elemento deficiente y hacer una formulación para corregirlo y no aplicar un fertilizante foliar portador de muchos elementos que pueden tener un efecto positivo integral, pero que no modifica la deficiencia que se desea corregir.

Para que la fertilización cumpla eficazmente su propósito, se requiere hacer un control sanitario adecuado, mantener el cultivo libre de malezas indeseables, y a su vez, un nivel adecuado de humedad en el suelo.

VII. BIBLIOGRAFÍA

7.3 ANÁLISIS ECONÓMICOS DE LAS RECOMENDACIONES DE FERTILIZANTES

Para hacer una recomendación de fertilizantes debe tener en cuenta no solo el análisis de los suelos, sino también la tecnología local de producción y el rendimiento de fincas vecinas o el promedio regional. Tal rendimiento es la base para predecir la producción por hectárea que se obtendría al aplicar las dosis de fertilizantes. De otra parte, el técnico debe estimar el beneficio económico que la fertilización representaría para el agricultor bajo diferentes situaciones de precios del insumo y del producto, calculando para cada recomendación el incremento probable en el ingreso neto por hectárea.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. BARBER, S.A. The role of root interpretation, mass flow and diffusion in regulating the uptake of ion by plants from soil. Tech. Rep. Ser. Int. Atom. Energy Ag. No. 65: 39-45. 1996.
2. BEAR, F.E; Suelo y fertilizantes. Barcelona, 1958.
3. BEAR, F.E. Mapa agronómico nacional "Pontevedra", Ministerio de Agricultura, Madrid, 1954.
4. DE WIT, C.T.; W. Dijkshoorn, and J.C. Noggle: Ionic balance and growth of plants. Versl. Landbouwk. Onderz. NR 69.15, Wageningen.
5. FLORES, V.; Costa, S; Navas, J. Análisis agronómico de la fertilización en cultivos, Bogotá, ICA, 267p. (Boletín técnico N°46), 1979.
6. FRANKE, W. Mechanisms of foliar penetration of solution, Ann. Rev. Plant Physiology. 18. p 281-300, 1967.
7. FREID, M., and H. Broeshart: The soil plant system, Academy Press, N.V. and London. 1967.
8. GROS, A. Guía practica de la fertilización, Madrid, Mundí Prensa. 426 p. 1971.
9. GUERRERO, R. La recomendación de fertilizantes fundamentales y aplicaciones. En: Fertilidad de suelos diagnóstico y control. S.C.C.S. Bogotá pp 235-265. 1988.
10. Instituto Colombiano Agropecuario. Los suelos y su fertilidad. Bogotá, ICA. 330 P (compendio n°23). 1978.
11. Instituto Colombiano Agropecuario. Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación. ICA. Tibaitata. 1992.
12. JACOB, A.; Hexkull, H. Fertilización, Nutrición y Abonados de cultivos tropicales y subtropicales. 1961.

13. LORA, R. Abono, fertilizantes químicos y orgánicos, Nueva Agricultura tropical (Colombia) V.21 N°9, p 13-19, 1979.
14. LORA, R. Análisis de suelos para micronutrientes. En fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. S.C.C.S. Bogotá. Pp 215-226. 1991.
15. LORA, R. El análisis de suelos y su interpretación. En: Cursos sobre suelos y fertilizantes. ICA, Tibaitata. Pp. 189-211. 1977.
16. MARIN, G.; Ortiz, G.; Lora, R.; Owen, E. El uso eficiente de los fertilizantes. Nueva agricultura tropical (Colombia). V.21 N°5. p 6-11. 1979.
17. MARIN, G. Fertilidad de los suelos con énfasis en Colombia. ICA. Tibaitata. Pp 299. 1977.
18. MELA Mela, P; Edafología. Madrid, 1954.
19. RUSSELL. E, J.; Las condiciones del suelo y el desarrollo de las plantas, trad. Esp. Madrid, 1954.
20. SAIZ del río, J.F. y Bornemiza, E.; Análisis químico de suelos, Turrialba. 1961.
21. SIMONSON, R.W.: Wat soil are, Soil USDA year Book, 1957.
22. TICKNELL, R.C., y López Ritas, J.: Estudio de los suelos venezolanos con fines diagnósticos, Caracas, 1961.
23. THOMPSON. L.M.: El suelo y su fertilidad. Barcelona. 1962.
24. TOBON, J.H. Como tomar una buena muestra de suelo. Bogotá. ICA. 12 p. Boletín de divulgación N°27. 1970.
25. WALSH, L.M., J.D. Beaton. Soil testing and plant analysis. Soil Science Society of America. 421 p. 1973.