



# **MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA**

## **PROGRAMA NACIONAL DE FRUTAS DE EL SALVADOR**

**Esta es una inversión social realizada con los recursos provenientes de FANTEL**

# **Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Foliareos para la Nutrición de Limón, Aguacate, Cocotero y Marañón**

**AUTORES:**

**ING. GILBERTO TORREZ ARIAS**

**ING. FELIPE CHINCHILLA**

Unidad de Formación de Capacidades para la Producción  
Programa Nacional de Frutas de El Salvador **MAG-FRUTAL-ES**

Se permite la reproducción total o parcial de este documento por medios  
impresos o electrónicos, haciendo referencia a la fuente.

Primera edición  
Consta de 100 ejemplares.

*Santa Tecla, El Salvador, C.A, Agosto de 2006*

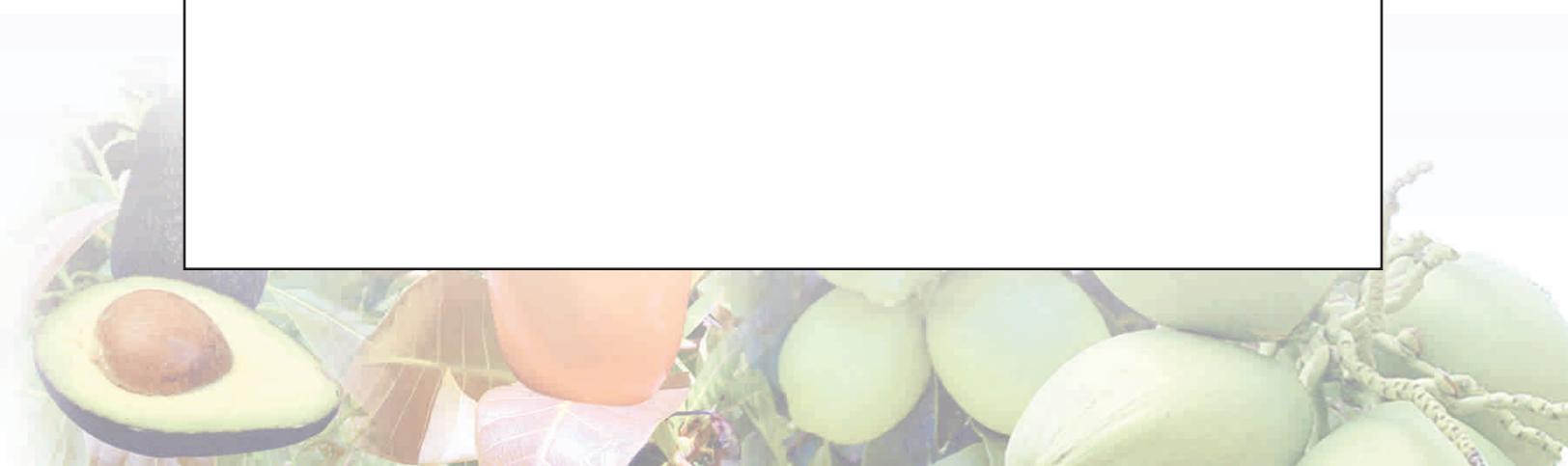


# ÍNDICE

PRESENTACIÓN.....	4
INTRODUCCIÓN.....	5
<b>1. EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO .....</b>	<b>6</b>
1.1 <i>Muestreo de suelos</i> .....	6
1.2 <i>Pasos a seguir para la toma de muestras</i> .....	7
1.3 <i>Recolección de muestras de suelos en plantaciones establecidas de frutales</i> .....	8
1.3.1 <i>Sugerencias</i> .....	9
<b>2 ANÁLISIS DE SUELO .....</b>	<b>9</b>
2.1 <i>Generalidades</i> .....	9
2.2 <i>Selección de la solución extractora</i> .....	11
2.3 <i>Determinación de niveles críticos</i> .....	11
2.4 <i>Interpretación de análisis de suelos</i> .....	12
2.5 <i>Rutina</i> .....	13
2.5.1 <i>pH del suelo</i> .....	13
2.5.2 <i>Tipos de acidez</i> .....	14
2.5.3 <i>Capacidad de Intercambio Catiónico Total (CICT)</i> .....	15
2.5.4 <i>Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE)</i> .....	16
2.5.5 <i>Capacidad de Intercambio Variable (CICV)</i> .....	16
2.5.6 <i>La materia orgánica</i> .....	17
2.5.7 <i>Ejemplo 1: Interpretación de un análisis de suelo</i> .....	17
<b>3 MUESTREO FOLIAR .....</b>	<b>19</b>
3.1 <i>Procedimiento para el muestreo foliar</i> .....	19
<b>4 ANÁLISIS FOLIAR.....</b>	<b>20</b>
4.1 <i>Preparación de la muestra en el laboratorio</i> .....	21
4.2 <i>Metodología de determinación</i> .....	21
4.3 <i>Interpretación</i> .....	22
4.4 <i>Consideraciones en las recomendaciones con base en el análisis foliar</i> .....	23
<b>5 COMPORTAMIENTO DE LOS NUTRIENTES EN SU ABSORCIÓN DE LA PLANTA. ....</b>	<b>24</b>
5.1 <i>En su absorción a nivel del suelo</i> .....	24
5.1.1 <i>Flujo de masa</i> .....	24
5.1.2 <i>Difusión</i> .....	24
5.1.3 <i>Intersección radicular</i> .....	24
5.2 <i>Dentro de la planta</i> .....	24
5.2.1 <i>Factores que afectan la absorción foliar</i> .....	26
5.3 <i>Criterios para la aplicación</i> .....	27
5.4 <i>Interacción de los minerales en las plantas</i> .....	28
<b>6 COMPORTAMIENTO DE LAS FUENTES EN LA LIBERACIÓN DE LOS MACRONUTRIENTES .....</b>	<b>28</b>

# ÍNDICE

6.1	<i>Elementos nutritivos</i> .....	28
6.2	<i>Terminología sobre fertilizantes utilizados</i> .....	29
6.3	<i>Características y propiedades de los fertilizantes más utilizados</i> .....	30
6.3.1	<i>Fuentes nitrogenadas</i> .....	30
6.3.2	<i>Soluciones nitrogenadas</i> .....	32
6.3.3	<i>Fuentes fosfóricas</i> .....	34
6.3.4	<i>Fuentes potásicas</i> .....	35
<b>7</b>	<b><u>TÉCNICAS EN LA APLICACIÓN DE NUTRIENTES AL SUELO Y FOLLAJE</u></b> .....	<b>37</b>
7.1	<i>Técnicas de aplicación de nutrientes al suelo</i> .....	37
7.1.1	<i>Fertilización disuelta e inyectada</i> .....	39
7.1.2	<i>Aplicación de amoníaco en campo</i> .....	40
7.1.3	<i>Fertirriego</i> .....	40
7.1.4	<i>Métodos de aplicación de micronutrientes</i> .....	42
7.2	<i>Abonado foliar</i> .....	42
7.2.1	<i>Micronutrientes mezclados a los fertilizantes</i> .....	44
<b>8</b>	<b><u>PRESENTACIÓN DE PRODUCTOS FERTILIZANTES GRANULADOS Y FOLIARES</u></b> .....	<b>45</b>
<b>9</b>	<b><u>EJERCICIO: DESARROLLO DE PLAN DE NUTRICIÓN SUELO Y FOLIARES EN FRUTALES</u></b> .....	<b>47</b>
9.1	<i>Recomendación del plan de nutrición en suelos</i> .....	47
9.2	<i>Requerimientos de nutrientes según el nivel de producción de frutales</i> .....	68
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>70</b>



## AUTORIDADES DEL MAG

**Lic. Mario Ernesto Salaverría**  
Ministro de Agricultura y Ganadería

**Ing. Emilio Suadi**  
Vice-Ministro de Agricultura y Ganadería

**Licda. Carmen Elena Díaz Bazán de Sol**  
Comisionada Presidencial para la Agricultura

## IICA

**Dr. Keith L. Andrews**  
Representante de IICA en El Salvador

## PROGRAMA MAG-FRUTALES

**Ing. Jorge Escobar De León**  
Coordinador Programa **MAG-FRUTAL ES**

**Ing. Daniel Rivas**  
Mercadeo y Comercialización

**Ing. Edwin De León**  
Poscosecha y Agroindustria

**Ing. Medardo Antonio Lizano**  
Formación de Capacidades para la Producción

**Lic. Fernando Antonio Alas**  
Comunicación y Difusión

## ESPECIALISTAS EN FORMACIÓN DE CAPACIDADES PARA LA PRODUCCIÓN

**Ing. Medardo Antonio Lizano**  
Jefe del Componente

**Ing. René Pérez Rivera**  
Especialista en Frutas Nativas

**Ing. Antonio Galdámez Cáceres**  
Especialista en Marañón

**Ing. Vladimir Humberto Baíza**  
Especialista en Frutas Nativas

**Ing. Mario Cruz Vela**  
Especialista en Viveros

## EDICIÓN

Ing. Jorge Escobar De León  
Lic. Fernando Antonio Alas

## DISEÑO

Printing Service Tel. 2278-3590  
printingsinai@yahoo.com.mx

## PRESENTACIÓN

El presente documento con tiene los elementos prácticos para que técnicos agrícolas puedan aplicarlos en el campo, con ello se pretende que dichos técnicos puedan interpretar los resultados de los análisis químicos de suelos y foliares, teniendo una base sólida para elaborar adecuados programas de nutrición de frutales y enmiendas o encalados de suelos, que permitan a los productores obtener resultados satisfactorios de la práctica de fertilización tanto edáfica como foliar.

Las ideas teóricas y prácticas que se transfieran a través de este Manual, ayudarán también a mejorar el conocimiento de la fertilidad de los suelos, el comportamiento de los diferentes nutrientes, la importancia de los muestreos de suelo y foliar, además de su correcta recolección, entre otros aspectos de importancia en la nutrición de las plantas frutales.



## INTRODUCCIÓN

La fruticultura en El Salvador esta iniciando una nueva etapa, a partir de la puesta en marcha del Programa Nacional de Frutas de El Salvador (**MAG-FRUTAL ES**), que es financiado con Fondos provenientes de la privatización de ANTEL (FANTEL), dicho programa es ejecutado por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), y nace dentro de las políticas de modernización de la agricultura para fortalecer la diversificación agrícola del país.

A través del tiempo se ha venido desarrollando capacidades técnicas para el acompañamiento de los productores de frutas, brindándoles la asistencia técnica adecuada y oportuna, con el propósito que las plantaciones establecidas alcancen una buena productividad y rentabilidad.

La nutrición de los frutales es una actividad cara, tanto en el costo de los insumos como en la mano de obra que se utiliza en la fertilización de la plantación, por lo tanto esta debe ser eficiente y eficaz, lo cual se logra por medio del correcto conocimiento de los factores que definen la nutrición de las plantas: condiciones de fertilidad del suelo y necesidades de la planta.

Los técnicos en frutales deben estar al tanto de las condiciones químicas, físicas y biológicas del suelo y de los requerimientos nutricionales de la planta, para realizar buenos programas de fertilización, que garanticen la correcta nutrición de las plantas, para obtener producción y calidad de alto nivel, que conlleve a la reducción de los costos de producción por unidad producida.

El manual tiene como propósito proporcionar a los técnicos en fruticultura, el conocimiento teórico y práctico necesario para que puedan realizar programas de nutrición de cultivos frutales competentes, conforme a los conocimientos de las características del suelo donde se cultiva y de los requerimientos propios de cada cultivo.

# 1. EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO

La evaluación de la fertilidad del suelo es el proceso mediante el cual se hace un diagnóstico de los problemas de nutrición y se hacen recomendaciones. Según Fitts (1974) tal programa tiene seis facetas interrelacionadas:

- 1) Muestreo de suelos y plantas;
- 2) Análisis de laboratorio del suelo y la planta;
- 3) Correlación entre análisis y respuesta de rendimiento;
- 4) Interpretación de resultados y recomendaciones;
- 5) Poner la información en uso;
- 6) Investigación.

## 1.1 MUESTREO DE SUELOS

El muestreo de suelos consiste en extraer pequeñas porciones de suelo, uniformes, representativas del terreno donde se desarrollaran cultivos o de terrenos que ya se están explotando, tales muestras de suelo se enviarán a un laboratorio especializado en determinar las cantidades de nutrientes que poseen los suelos, así como, proporcionar información referente a las características propias del suelo.

El muestreo debe ser representativo del área muestreada. La mayor fuente de error proviene del muestreo de suelos, por lo tanto, se debe deducir la gran responsabilidad que recae sobre la persona que realiza esta actividad. Lógicamente un mal muestreo

repercutirá negativamente en los resultados del análisis químico, el cual es realizado en el laboratorio de suelos que se limita a efectuar los análisis de las muestras, sin conocer si esta fue bien tomada o no.

La metodología, el análisis instrumental y la correlación que existe entre los resultados del análisis y las respuestas en el campo e invernadero, hacen del análisis de suelo una herramienta confiable. Para lograr la representatividad de las muestras se deben seguir ciertos criterios fundamentales:

- 1) La submuestra se debe tomar uniformemente desde la superficie hasta la profundidad de máxima absorción radicular que generalmente es de 20cms. Submuestra superficial (0-20cms) y profundas (21-40cms).
- 2) Todas las submuestras deben tener el mismo volumen, esto garantiza que cada submuestra tenga la misma probabilidad de aparecer en la muestra final; para esto los barrenos y los muestreadores son las herramientas más indicadas.
- 3) El número de submuestras que se tomen deben garantizar la representatividad del terreno muestreado.
- 4) Las muestras se deben tomar meses antes de la siembra, para que los resultados del análisis estén listos para decidir las clases y cantidades de abonos o enmiendas que sean necesarias comprar y aplicar; también se recomienda 2 meses después de la última abonada (se espera que ya no haya residuos) o después de la cosecha. Durante la época seca los nutrientes están estabilizados, no así en época lluviosa.

## 1.2 PASOS A SEGUIR PARA LA TOMA DE MUESTRAS.

- 1) Alistar previamente las herramientas y materiales adecuados, éstas deben estar limpias, libres de toda sustancia contaminante: pala muestreadora o barrenos, baldes plásticos para colocar las submuestras, bolsas plásticas (5 libras de capacidad), cinta métrica, viñetas, lápiz grueso, machete, plástico grueso (1m<sup>2</sup>).
- 2) Observación y división del terreno en lotes uniformes. Si este es uniforme se pueden muestrear hasta 10 manzanas en una sola muestra representativa (compuesta de 15-20 submuestras. Entre más submuestras se tomen existe más representatividad del área muestreada). Si existen variaciones en cuanto a topografía, color, drenaje, textura, pedregosidad, etc., se deben separar en lotes o unidades de muestreo con características similares que reflejen condiciones análogas de fertilidad.
- 3) No se deben muestrear lugares que no sean representativos del área o que estén contaminados, Ej.: sesteaderos de ganado, veredas, alrededor de las casas, donde se haya amontonado o quemado basura, área de los cercos, etc.
- 4) Antes de tomarse la submuestra el lugar debe limpiarse superficialmente, eliminando hojarascas u otro material extraño que altere la muestra.
- 5) Todas las submuestras se deben obtener en puntos escogidos al azar en un recorrido en zig-zag y colocarlas en un balde para luego extenderlas en el plástico a fin de mezclarlas y obtener la muestra compuesta (1 kilogramo).
- 6) El número total de submuestras por unidad de muestreo, no debe ser menor de 5 por manzana.
- 7) La muestra compuesta debe acompañarse de toda la información requerida en los formularios que para ello tienen preparado los laboratorios de suelos. Ej.: nombre del propietario, nombre del lote, localización, cultivo a sembrar o cosechado, profundidad de muestreo, topografía, altura sobre el nivel del mar, sistema de siembra, fertilizantes empleados, cantidad, tipo de riego, producción, etc.
- 8) La muestra de suelos es una porción de una mezcla formada por varias submuestras de suelo, la cual se toma como representativa de una unidad de muestreo.

**Figura 1:** Herramientas y materiales usados para la toma de muestras de suelos.

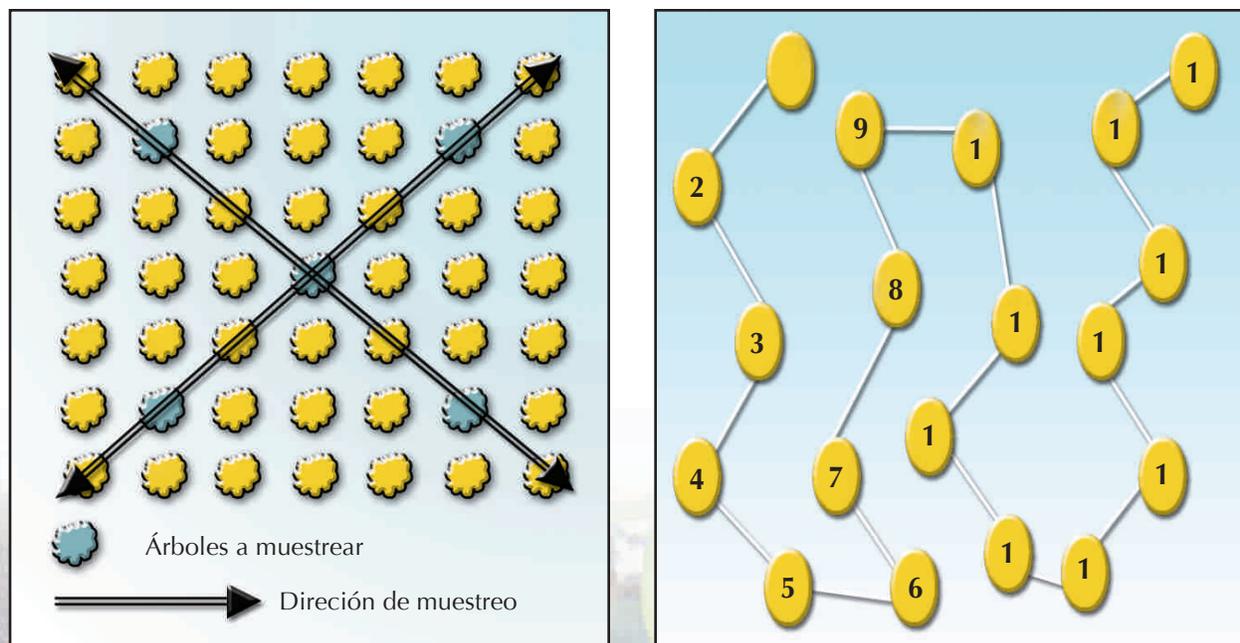


**HERRAMIENTAS:** 1. Corvo, 2. Barreno de espiral, 3. Barreno de tubo, 4. Navaja, 5. Cinta métrica, 6. Pala muestreadora, 7. Balde.  
**MATERIALES:** 8. Bolsa de papel, 9. Plumón o marcador, 10. Bolsa plástica, 11. Viñetas y 12. Lona mezcladora

### 1.3 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SUELOS EN PLANTACIONES ESTABLECIDAS DE FRUTALES.

- 1) Dividir el huerto en zonas, lotes o unidades de muestreo que sean uniformes en cuanto a topografía, color, drenaje, pedregosidad, etc. Además que sean idénticas en relación a la edad de los árboles, variedad, clase de patrón, características de crecimiento, nivel productivo, etc.
- 2) Recorrer cada unidad de muestreo siguiendo el trazado de dos diagonales en forma de X y escoger 6-10 árboles por diagonal en forma sistemática, es decir uno cada cierto número de árboles según tamaño de la unidad de muestreo.
- 3) Para cada árbol seleccionado, escoger 4 sitios de muestreo equidistantes y que estén localizados en la dirección de los puntos cardinales. En cada uno de estos puntos se tomará una submuestra superficial (0-20cm) y otra profunda (21-40cm).
- 4) Las submuestras se deben tomar en la zona comprendida entre la mitad del radio medio de la copa y el perímetro de la misma.
- 5) Colocar por separado cada tipo de submuestra (superficial y profunda), en baldes de diferente color.
- 6) Mezclar de manera homogénea (en el plástico grueso) las submuestras superficiales pertenecientes a una misma unidad de muestreo y tomar una porción que pese 1 kilogramo (2 libras).
- 7) Identificar bien la muestra con la información solicitada y amarrar junto con la bolsa la etiqueta y la hoja de información complementaria.
- 8) Repetir el paso 6 y 7 con las submuestras profundas.
- 9) Enviar o llevar las muestras lo más pronto posible al laboratorio de suelos de su preferencia (CENTA-PROCAFE-FUSADES-UES).

**Figura 2:** Técnicas de muestreo de suelos en frutales: Sistemático y Zig Zag.



### 1.3.1 SUGERENCIAS

- 1) No tomar muestras en suelos muy húmedos, porque es difícil mezclar bien las muestras.
- 2) Usar bolsas nuevas y limpias para evitar que las muestras se contaminen con materias extrañas.
- 3) No fumar en el momento de extraer o mezclar las submuestras, para evitar que la muestra se contamine con cenizas.
- 4) Utilizar una caja de cartón para proteger y transportar las muestras que se envían al laboratorio.
- 5) Todas las submuestras deben tener dimensiones (volumen) uniformes (20 x 3 x 2 cm. de largo, ancho y espesor).
- 6) Hacer un mapa del terreno y de las unidades de muestreo.

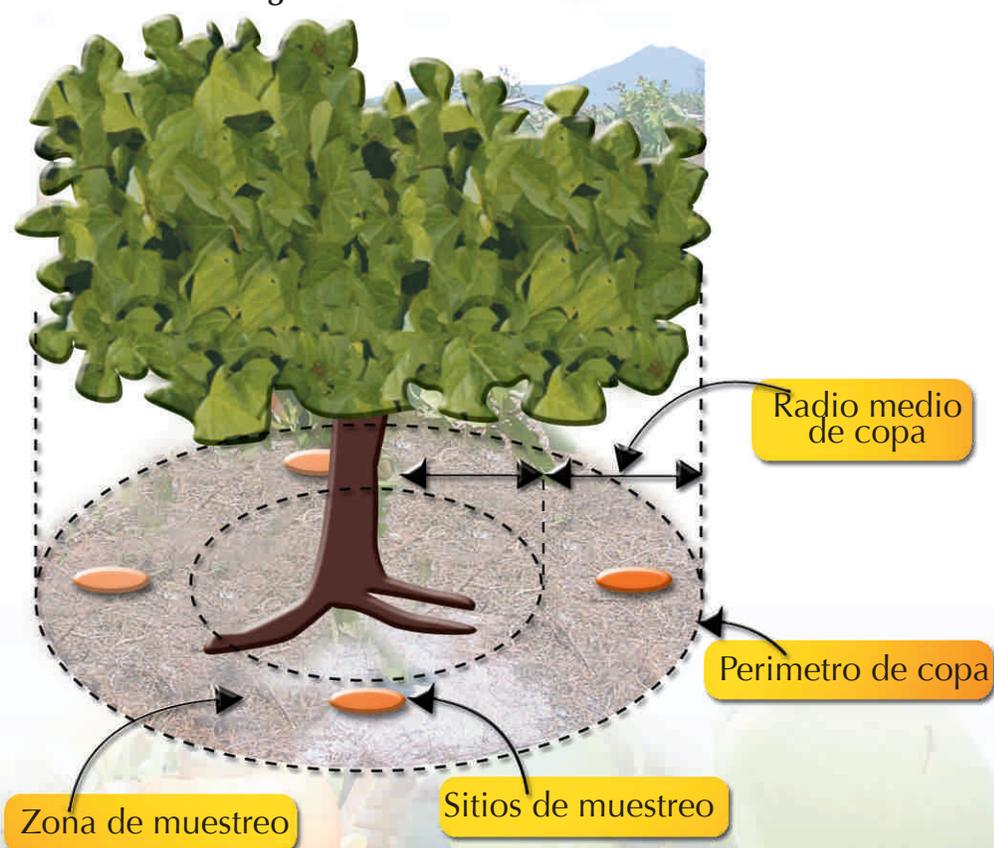
## 2. ANÁLISIS DE SUELOS

### 2.1 GENERALIDADES

El análisis químico de suelos consiste en determinar por métodos químicos las concentraciones de los nutrimentos que están

disponibles en el suelo para la nutrición de las plantas durante su ciclo de desarrollo, además se determina el grado de acidez o alcalinidad, CIC, Materia Orgánica (M.O.), textura, entre otras.

Figura 3: Sitios de muestreo.



Los análisis químicos de suelos consisten en la extracción de los nutrientes del suelo mediante soluciones químicas extractoras, las cuales simulan la acción de la raíz y han sido correlacionadas y calibradas directamente con respuestas de campo y de invernaderos, de manera que, producciones mayores deben corresponder con altas extracciones y producciones menores con extracciones bajas; cuando la solución extractora extrae poco de un elemento, las plantas crecen poco y cuando extra mucho, se obtienen buenos rendimientos.

Además es necesario establecer el punto o nivel de elemento extraído con la solución extractora, a partir de la cual los rendimientos que se obtienen del cultivo son casi iguales. Como lo que ocurre entre el suelo y la solución es una reacción química, existen muchas y diferentes soluciones extractoras, que extraerán diferentes cantidades de los nutrientes en los diferentes tipos de suelos.

Por lo tanto, el análisis químico es un procedimiento adecuado, confiable y práctico para evaluar la fertilidad del suelo ya que esta fundamentado en dos aspectos esenciales:

1. En el uso de soluciones extractoras de la fracción disponible adecuadas para los diferentes grupos de suelos, y
2. En la utilización de niveles críticos (alto medio y bajo) confiables, calibrados para la solución extractora más adecuada según los suelos y los cultivos.

El análisis de suelo se realiza en laboratorios especializados y por personal capacitado. Laboratorios de suelos existen en el país: privados, estatales y universitarios; todos utilizan las mismas soluciones extractoras (metodología de extracción) y procedimientos (determinaciones), por lo cual no hay mejor laboratorio que otro; la diferencia podría existir en la rapidez de entrega de resultados, y el valor del análisis.

**Cuadro 1:** Metodología para el análisis del suelo en los laboratorios del MAG y FUSADES

Características	Unidad	Metodología de extracción	Determinación
pH H <sub>2</sub> O-pH KCL		10:25 H <sub>2</sub> O ó KCl 1N	Potenciométrica
Acidez extraíble	meq / 100 ml	2.5:25 KCl 1N	Titulación NaOH 0.01N
Ca-Mg	meq / 100 ml	2.5:25 KCl 1N	Espectrofotómetro de Absorción Atómica
K	meq / 100 ml	5:25 Carolina del Norte	Espectrofotómetro de Emisión
P	ug / ml	5:25 Carolina del Norte	Colorimétrica azul de molibdeno o molibdovanadato
Zn – Mn – Fe – Cu	ug / ml	5:25 Carolina del Norte	Espectrofotómetro de Absorción Atómica
S	ug / ml	2.5:25 CaH <sub>4</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> 2H <sub>2</sub> O	Turbidimétrica BaCl <sub>2</sub> -2H <sub>2</sub> O + PVP K <sub>3</sub> O
B	ug / ml	2.25:25 CaH <sub>4</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> 2H <sub>2</sub> O	Colorimétrica Carmín
Materia orgánica	%	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> 1N	Titulación Fe (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> – 6H <sub>2</sub> O

**Cuadro 2:** Análisis de rutina

Institución	Análisis efectuados
CENTA	Textura al tacto, pH, P, K, y recomendaciones
PROCAFE	Textura al tacto, pH, P, K, Ca, Mg, Al, AcTotal, materia orgánica y recomendación

## 2.2 SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN EXTRACTORA.

La selección de una u otra solución extractora para un elemento dado, se basa en la mayor o menor asociación o relación entre la cantidad del elemento extraído por la solución y lo que realmente extrae la planta. Una solución será eficiente a adecuada, cuando a valores altos de extracción correspondan valores altos de absorción del elemento y cuando los valores bajos de extracción coincidan con baja absorción del elemento por la planta. En caso contrario supondrá una eficiencia baja o nula.

La solución extractora de Carolina del Norte (Díaz Romeo y Hunter, 1978) es la utilizada en los laboratorios del país. A la solución extractora de Carolina del Norte se le conoce

también como Solución Doble Ácida o Melich 1.

## 2.3 DETERMINACIÓN DE NIVELES CRÍTICOS

La etapa final del proceso es la calibración del análisis u obtención de niveles críticos de los diferentes elementos, niveles que van a constituir los criterios básicos del diagnóstico de fertilidad del suelo a partir del análisis químico.

El nivel crítico obtenido dependerá del extractante utilizado, del tipo de suelo y de la clase de cultivo; por lo que los niveles críticos de un mismo nutrimento deberán ser obtenidos para los diferentes grupos de suelo y dentro de cada grupo para los diferentes cultivos.

**Cuadro 3:** Tabla de niveles críticos para interpretación de análisis de suelo

Características	Categorías de disponibilidad				
	Muy bajo	Bajo	Alto	Muy alto	Medio
P (ppm)	0 – 8	9 - 12	13 - 30	> 30	
K (ppm)	-	0 - 59	60 - 200	> 200	
Ca (meq/100 g)	0 – 2.2	2.3 – 4.0	4.1 - 36	> 36	
Mg (meq/100 g)	0 – 0.8	0.9 – 2.0	2.1 - 18	> 18	
Zn (ppm)	0 – 0.4	0.5 – 3.0	3.1 – 6.0	6.1 – 36	
Cu (ppm)	0 – 0.1	0.2 – 1.0	1.1 – 3.0	3.1 – 20	
Fe (ppm)	0 – 1	2 – 10	11 – 20	21 – 80	
Mn (ppm)	0 – 0.7	0.8 – 5	5.1 – 10	11 – 100	
B (ppm)	0 – 0.03	0.04 – 0.2	0.3 – 0.5	0.6 – 8	
S (ppm)	0 - 2	3 - 12	13 - 20	21 – 80	
M. O. (%)		< 2	> 4		2 – 4
Relación Ca/Mg		< 2	> 5		2.1 – 5
Relación Mg/K		< 2.5	> 15		2.5 – 15
Relación Ca/K		< 5	> 25		5 – 25
Relación (Ca+Mg)/K		< 10	> 40		10 – 40
CIC (meq/100g)*	< 4	8.1 - 12	> 20		

\*Moderadamente Bajo 4 a 8; Moderadamente Alto de 12 a 20.

**Cuadro 4:** Categorías del pH del suelo (acidez – alcalinidad) en agua relación 1:2.5

Categorías de pH	Siglas	Valores de pH
Extremadamente ácido	EA	4.1 – 4.4
Muy fuertemente ácido	MFA	4.5 – 5.0
Fuertemente ácido	FA	5.1 – 5.5
Moderadamente ácido	MA	5.6 – 6.0
Ligeramente ácido	LA	6.1 – 6.5
Neutro	N	6.6 – 7.3
Medianamente alcalino	MAL	7.4 – 8.0
Fuertemente alcalino	FAL	8.1 – 9.0
Extremadamente alcalino	EAL	> 9.0

## 2.4 INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS DE SUELOS

Los niveles críticos varían según la solución extractora, según el cultivo y tipo de suelo, entre otros; por lo que antes de realizar una interpretación de resultados se debe de conocer con qué solución se hizo el análisis y con qué tabla de niveles críticos se cuenta.

**Nivel crítico** se entiende aquella concentración extraída del suelo por encima del cual existe una alta probabilidad de encontrar baja respuesta a la fertilización.

Con los datos del análisis químico y la tabla de niveles críticos la interpretación parece resuelta, ya que se puede decir cuales con los problemas que tiene ese suelo y es hasta aquí donde se puede concluir con un análisis de suelo.

La secuencia lógica para realizar una interpretación de un análisis de suelo es la siguiente:

1. Identificación de problemas de acidez, causas, observación del pH, de la acidez, el Al, las bases y consideración de la tolerancia del cultivo a la acidez.
2. Decisión de encalado, los cálculos de dosis, definición de época, método y fuente, consideraciones de efectos primarios y secundarios del encalado.
3. Cálculo de las relaciones entre bases Ca, Mg, K y efecto del encalado sobre ellas.
4. Identificación de los nutrimentos **Deficientes**. Establecer posibles causas.
5. Estimación del comportamiento del N y el S con base en la materia orgánica, condiciones climáticas y otras características del suelo.
6. Elaboración de una síntesis o conclusiones, ordenando jerárquicamente los problemas diagnosticados según su importancia de atención.

**Cuadro 5:** Rangos deseables de pH del suelo para cultivos frutícolas.

Cultivo	Rangos de valores del pH	Cultivo	Rangos de valores del pH
Cítricos	5.5 – 7.0	Guayaba	4.5 – 8.5
Mandarinas	5.5 – 7.0	Jocote de verano	5.5 – 7.0
Aguacate	5.5 – 6.8	Anona	5.0 – 6.5
Coco	5.0 – 7.5	Níspero	5.0 – 6.3
Nance	5.0 – 7.0	Melocotón	5.5 – 7.0
Marañón	6.0 – 7.0	Mango	5.5 – 6.5
Zapote	5.0 – 6.5	Ciruella	6.0 – 7.9

**Cuadro 6:** Estimación de la variación porcentual de asimilación de los principales nutrientes de las plantas en función del pH del suelo.

Nutrientes	pH					
	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
Nitrógeno %	20	50	75	100	100	100
Fósforo %	30	32	40	50	100	100
Potasio %	30	35	70	90	100	100
Azufre %	40	80	100	100	100	100
Calcio %	20	40	50	50	83	100
Magnesio %	20	40	50	50	80	100

Fuente: Alcalde J,C. (1983)

## 2.5 RUTINA.

El principal objeto del análisis de suelo, es determinar los elementos químicos de interés para la nutrición de las plantas. El análisis de rutina se realiza en varios laboratorios de suelo, pero uno de los más completos para la interpretación de la fertilidad del suelo debe de contener lo siguiente: textura, pH, P, K, Ca, Mg, Al, acidez total y materia orgánica. En suelos donde se sospecha que pueda existir deficiencia de elementos menores, se agrega al análisis de rutina la determinación de Boro y Zinc u otro micronutriente.

### 2.5.1 pH DEL SUELO

El pH es la medida de la acidez o alcalinidad del suelo, que afecta la disponibilidad de los nutrientes para las plantas, así como también la actividad de los microorganismos y la solubilidad de los minerales del suelo. La cantidad o concentración de iones de hidrógeno ( $H^+$ ) y ( $OH^-$ ), que se encuentran en la solución del suelo, determinan la acidez o alcalinidad. El pH se presenta en escala

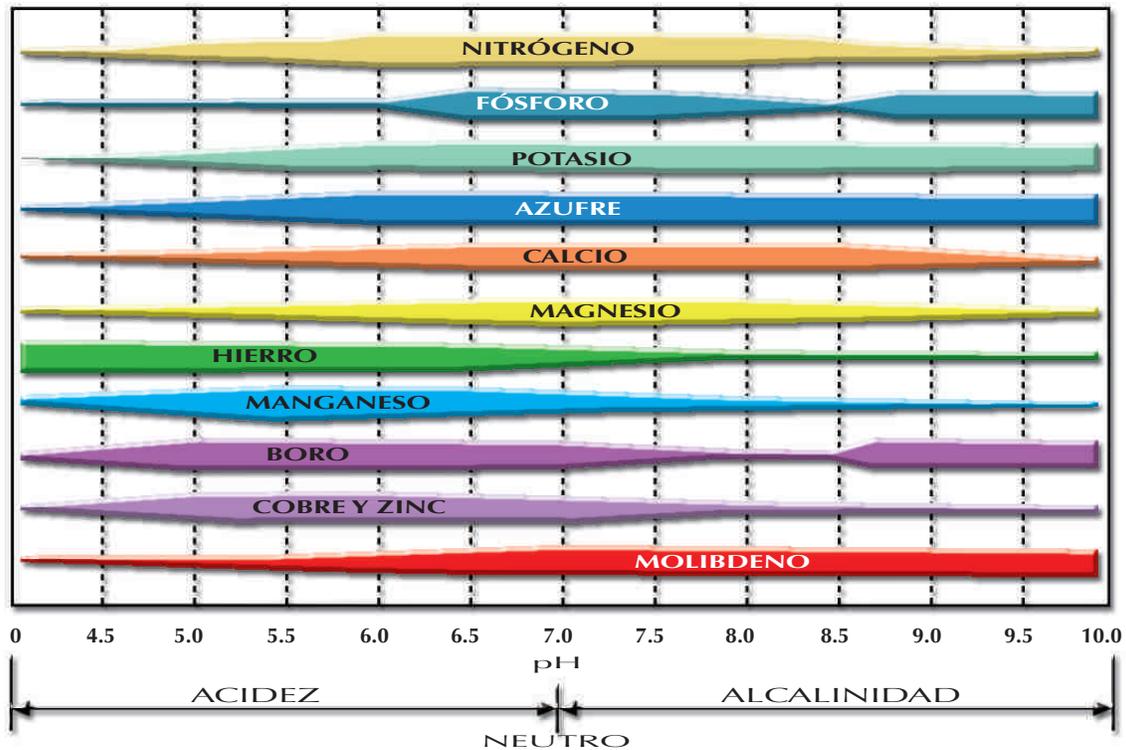
logarítmica, con valores expresados en potencia de 10 así: un pH 3 indica que es 10 veces más ácido que un pH 4 y 100 veces más ácido que un pH 5.

El pH es una propiedad química del suelo, muy importante de conocer, especialmente por su carácter orientador del comportamiento de los elementos del suelo; sin embargo éste no cuantifica los contenidos de iones de hidrógeno que son adheridos a las cargas negativas de las arcillas y de la materia orgánica del suelo; siendo ésta la razón por la cual no se emplea el pH en el cálculo para la recomendación de enmiendas, por no considerar todas las formas de acidez presentes en el suelo.

El pH determinado en agua, solamente refleja la acidez activa de la solución del suelo. El pH determinado en cloruro de calcio ( $CaCl_2$ ), refleja tanto la acidez activa de la solución del suelo, como también la acidez intercambiable; sin embargo dicho resultado no contempla la acidez de reserva, que está adherida fuertemente a las paredes de las arcillas y de la materia orgánica.

Figura 4: Disponibilidad de los nutrientes según pH del suelo.

### INFLUENCIA DEL pH DEL SUELO EN LA DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES



#### 2.5.2 TIPOS DE ACIDEZ

En el suelo se presentan diferentes clases de acidez; su mayor o menor contenido, dependerá del tipo de arcilla, textura, contenido de materia orgánica y manejo del suelo. A continuación se presentan los tres tipos de acidez del suelo.

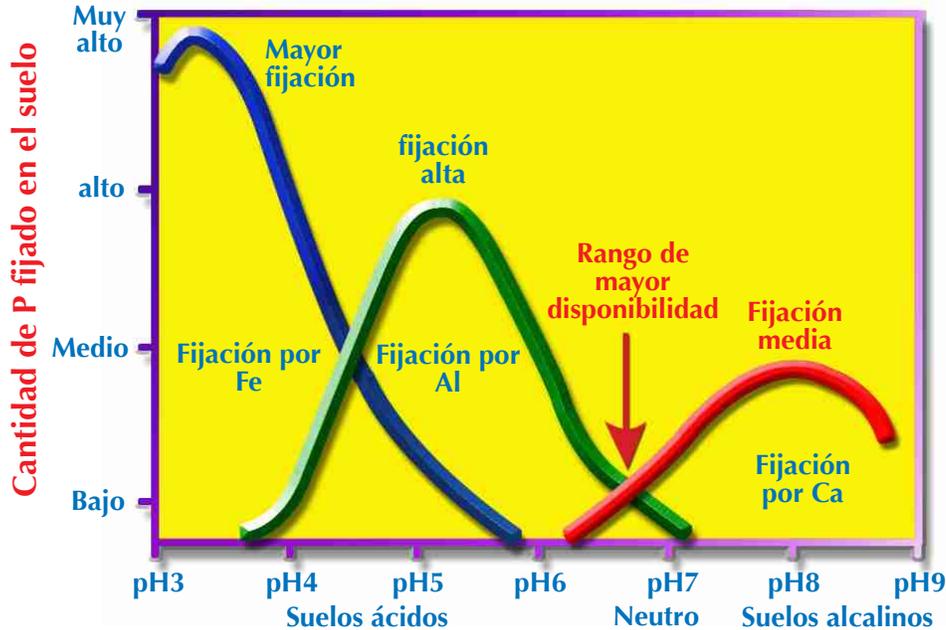
- Acidez activa o de la solución del suelo.
- Acidez intercambiable.
- Acidez de reserva, no cambiante o potencial.

La acidez total del suelo, comprende todos los contenidos de Hidrógeno ( $H^+$ ) y Aluminio ( $Al^{3+}$ ) presentes en las arcillas y en la materia

orgánica del suelo, su contenido es determinado en los laboratorios del suelo. Dicho resultado está formado por dos tipos de acidez:

- La intercambiable, que se caracteriza por estar débilmente adherida a las cargas negativas de las paredes de las arcillas y de la materia orgánica; dicha acidez es la que ocasiona mayor daño a los frutales, por la presencia del Aluminio ( $Al^{3+}$ ), ya que dicho elemento ocasiona daño al sistema radicular, principalmente a las raíces "comelonas".
- El otro componente de la acidez total es la cambiante, potencial o reserva. Se caracteriza por estar fuertemente adherida a las arcillas y a la materia orgánica.

Figura 5: Fijación de Fósforo en el suelo según pH.



El porcentaje de acidez total permisible oscila entre un 10 a 12%, dentro de la capacidad de intercambio catiónico total del suelo.

Figura 6: Lavado de bases

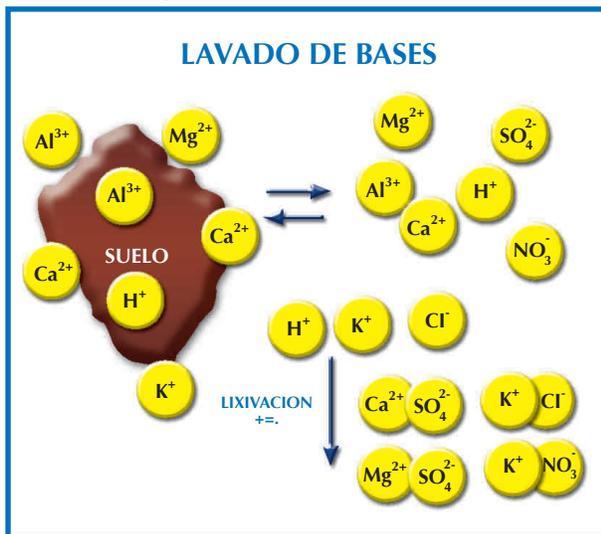
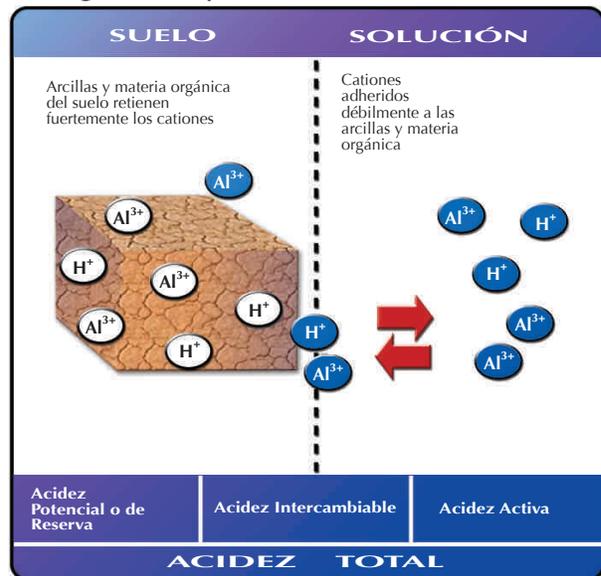


Figura 7: Tipos de acidez en el suelo



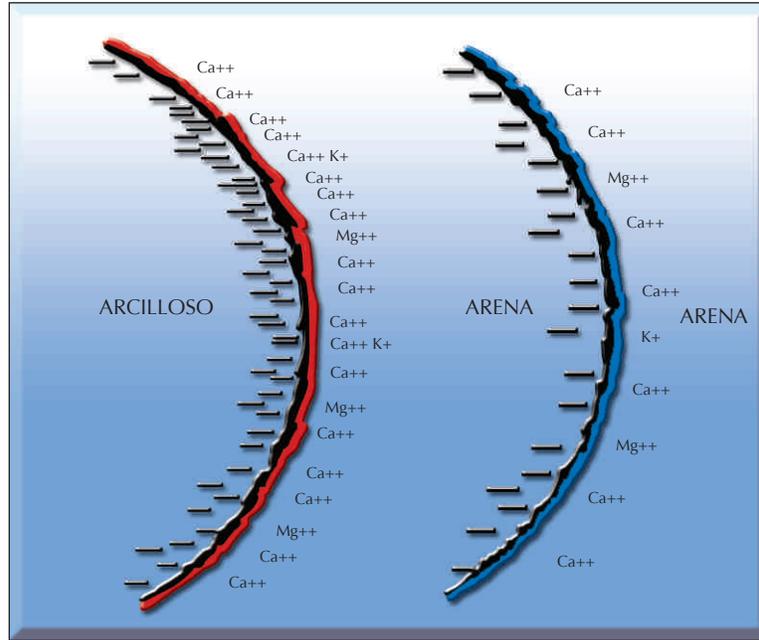
### 2.5.3 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO TOTAL (CICT).

Es la forma de cuantificar las cargas negativas del suelo asociadas a las arcillas y a la materia orgánica. Comprende el total de cargas negativas del suelo y está formada por la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) y la capacidad de intercambio

catiónico variable (CICV). Su contenido determina el potencial productivo del suelo; así: suelos con un contenido de CICT <10 meq/100g, se clasifican de poseer una baja fertilidad, valores entre 10 y 20 meq/100g, de media fertilidad y con valores mayores a 20 meq/100 g, de alta fertilidad. La fórmula para determinar la CICT es la siguiente:

CICT = CICE + acidez de reserva (CICV);  $\delta$   
 CICT = Sumatoria de bases ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Acidez total}$ ).

**Figura 8:** Capacidades de intercambio de cationes de partículas del suelo



#### 2.5.4 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO EFECTIVA (CICE).

Se define como la sumatoria de elementos básicos ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+$ ) cambiabiles más acidez intercambiable ( $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ).

Se caracteriza por estar débilmente atrapada a las cargas negativas de las arcillas del suelo, con los aumentos en los valores de pH mejora sus niveles, caracterizando el suelo con una mayor productividad.

Para la interpretación de la CICE, se manejan los siguientes parámetros.

CICE =  $< 5$  meq/100g = Baja capacidad productiva, pocas reservas de cargas, se incrementa la lixiviación.

CICE = 5 a 15 meq/100g = De mediana

capacidad productiva, buenas reservas de cargas y menos lixiviación.

CICE =  $> 15$  meq/100g = De alta capacidad productiva necesiándose gran cantidad de enmiendas para corregir problemas de acidez.

El cálculo de la CICE se realiza de la siguiente manera:

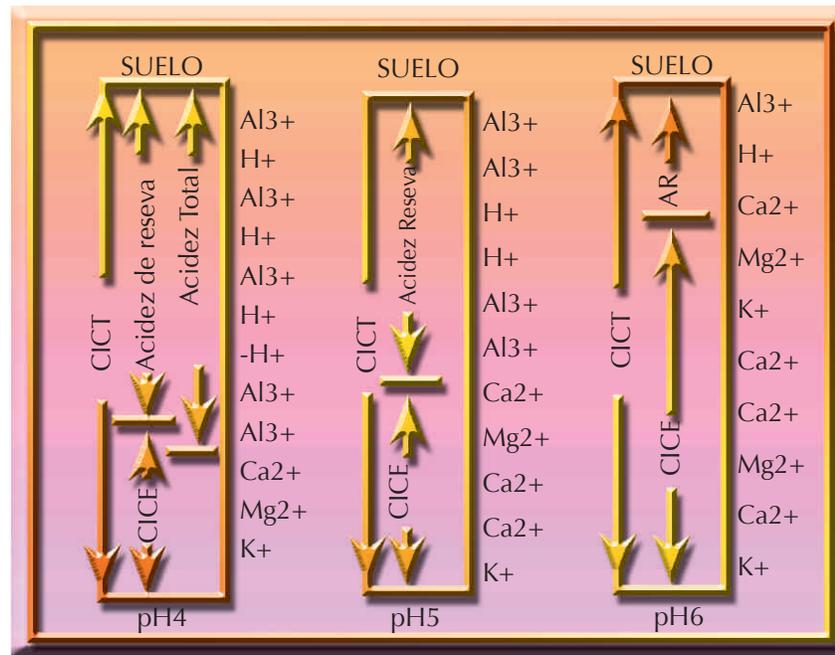
$$\text{CICE} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Al}^{3+} \text{ intercambiable.}$$

#### 2.5.5 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO VARIABLE (CICV)

Esta formada por la acidez de reserva ( $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ) que se encuentra en las arcillas y en la materia orgánica, se diferencia de la anterior por estar fuertemente atrapada a las cargas negativas.

El cálculo de la acidez de reserva, se obtiene de la siguiente manera:  
 Acidez de reserva = acidez total - acidez intercambiable

**Figura 9:** Capacidad productiva del suelo



### 2.5.6 LA MATERIA ORGÁNICA

Las fuentes orgánicas son materiales que se derivan de un tejido vivo y tienen origen vegetal y animal. En el suelo, dichas fuentes desempeñan funciones específicas como: alcalinizantes, aportación de nutrientes; retienen la humedad y mejoran las condiciones físicas y químicas del suelo, proporcionan energía al suelo, para incrementar los microorganismos; además actúan en el control de plagas del suelo, principalmente nematodos; contienen elementos esenciales, cuya relación más importante es la del C/N, con valores que deben oscilar entre 15 y 20%.

Los niveles que se manejan de la materia orgánica, son los siguientes:

<3% nivel bajo; 3.1 a 5.9% nivel medio;  
> 6% nivel alto

### 2.5.7 EJEMPLO 1: INTERPRETACIÓN DE UN ANÁLISIS DE SUELO

#### Específicos del productor.

Nombre del Agricultor: José José.  
 Ubicación: Cantón Santa Cruz Porrillo, Zacatecoluca, La Paz.  
 Profundidad de muestreo: 20 cm.  
 Cultivo a fertilizar: Limón Pérsico.  
 Edad del cultivo: 3 años.  
 Topografía: Inclinado.

**Cuadro 7:** Datos del análisis

Textura	Franco arenoso
pH en agua	5.4 Fuertemente ácido
Fósforo (ppm)	22 Alto
Potasio (ppm)	199 Alto
Zinc (ppm)	36.3 Muy alto
Manganeso (ppm)	30.0 Muy alto
Cobre (ppm)	0.38 Bajo
Calcio intercambiable (meq/100 g)	6.95 Alto
Magnesio intercambiable (meq/100 g)	2.93 Alto

## Interpretación

### Paso 1.

- Identificación de problemas de acidez: 5.4 fuertemente ácido.
- Causas: se desconocen los antecedentes de fertilización.
- Observación del pH: 5.4
- La acidez: fuertemente ácido.
- Aluminio: por la textura del suelo es casi nula su probabilidad de presencia.
- Consideración de la tolerancia del cultivo a la acidez: en su límite de rango mínimo.

### Paso 2.

- Decisión de encalado: aplicación de 1 tonelada por ha de cal dolomítica.
- Método: incorporado al suelo.
- Época: inicio de lluvias con el objeto de aumentar el pH y no desbalancear la relación Ca/Mg.

### Paso 3.

- Cálculo de relaciones entre bases: están entre los rangos adecuados.
- Efecto del encalado: realizar un análisis de suelo posterior a la aplicación de la cal dolomítica para conocer la nueva situación del pH y el balance de las bases.

### Paso 4.

- Determinación de los nutrimentos deficitarios: los elementos deficitarios son el N y el Cu.
- Aplicación se Sulfato de Cobre en dosis de 1 onza por árbol de naranja.

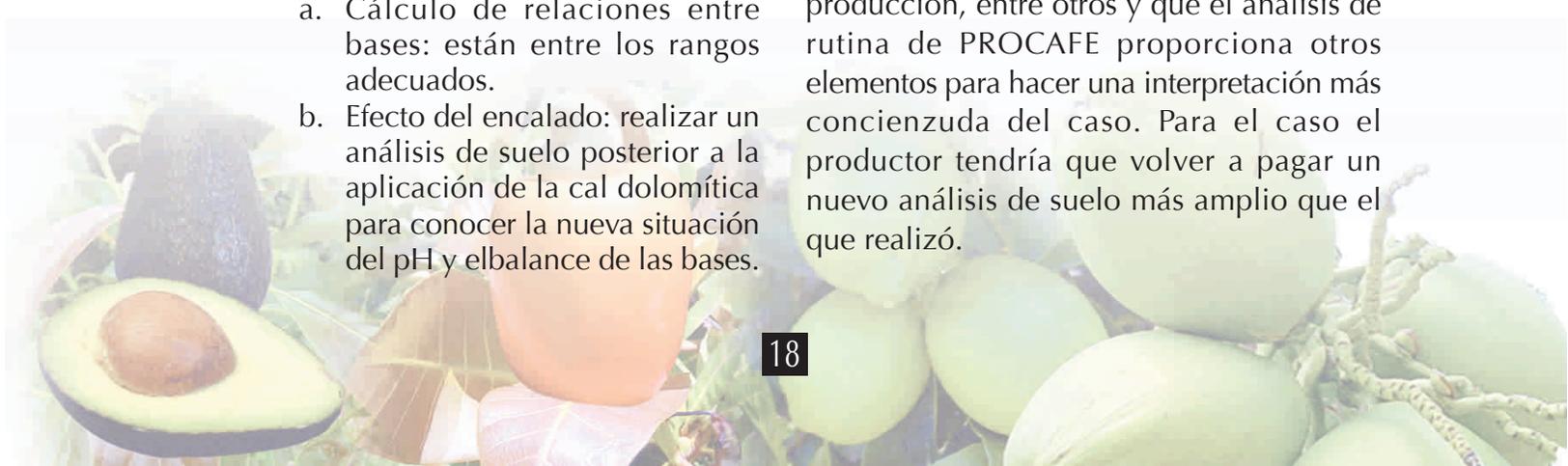
### Paso 5.

- Estimación del comportamiento del N y S: no hay datos que ayuden a determinar esta relación.

### Paso 6.

- Elaboración de la síntesis o conclusiones: se considera el siguiente orden de importancia: Acidez =► N =► Cu

Cabe mencionar que los datos específicos del agricultor deberían de contener otro tipo de información como registro de fertilización, producción, entre otros y que el análisis de rutina de PROCAFE proporciona otros elementos para hacer una interpretación más concienzuda del caso. Para el caso el productor tendría que volver a pagar un nuevo análisis de suelo más amplio que el que realizó.



### 3. MUESTREO FOLIAR

El contenido de elementos varía bastante entre los diferentes órganos de la planta (hojas, pecíolos, frutos, tallos y raíces), con la edad del tejido (hojas jóvenes y hojas viejas) y la edad de la planta. Por esta razón es importante estandarizar el muestreo y analizar el tejido indicador, que manifiesta de mejor forma el estado nutricional de la planta, tomado de una posición definida de la misma cuando ésta tiene una edad determinada. Cuando el muestreo se estandariza, se puede comparar los datos obtenidos con los niveles críticos determinados de la misma forma y publicados en la literatura agrícola.

#### 3.1 PROCEDIMIENTO PARA EL MUESTREO FOLIAR

Para el muestreo foliar se puede seguir la misma metodología que se definió para el muestreo de suelos en plantaciones establecidas de huertos frutícolas, el cual consiste en:

- 1- Dividir la plantación en unidades de muestreo, según la uniformidad del terreno, además que sean similares en relación a la edad de los árboles, variedades, características de crecimiento, nivel de producción, etc. Las unidades de muestreo deben tener como máximo un área de 10 manzanas.
- 2- El muestreo en cada unidad debe ser a lo largo de dos diagonales en forma de X. El número de árboles a muestrear debe ser entre un 5-10% de la población total de la unidad de muestreo (25 árboles), procurando no incluir árboles cercanos a los caminos, casas, orillas del huerto, ni árboles enfermos (en este caso las muestras colocarlas por separado).
- 3- De cada árbol seleccionado escoger ramas de los cuatro puntos cardinales.
- 4- Las ramas seleccionadas en cada punto deben ubicarse a la misma altura respecto al suelo, deben estar bien iluminadas, no dañadas por plagas ni enfermedades, ni por factores físicos o químicos.
- 5- De estas ramas coleccionar las hojas ubicadas en la quinta posición, empezando del ápice hacia la base (cítricos). No coleccionar hojas dañadas por plagas, enfermedades, muy tiernas o muy viejas, de tamaño anormal o dañado por factores del ambiente o productos químicos.
- 6- Cada muestra deberá contener 100 hojas ya que se tomaron 4 hojas por árbol de 25 que fueron escogidos dentro del área. Este es un muestreo óptimo y práctico (Holland et al 1967).
- 7- El muestreo puede hacerse a cualquier hora del día (Marchal, 1987), ya que las variaciones de concentración de nutrientes durante el día no son significativas. El muestreo debe realizarse antes de una abonada al suelo o inmediatamente después de la aplicación, pero no después de una aplicación foliar.
- 8- La frecuencia de muestreo en frutales debe realizarse anualmente durante cierto número de años para establecer un patrón nutricional del cultivo.
- 9- Identificación de la muestra. Las muestras a enviar al laboratorio deben llevar suficiente información de identificación:
  - Nombre de la finca y propietario.
  - Lugar, municipio y departamento.
  - Cultivo, variedad, estado actual del cultivo, edad de la plantación.
  - Lote, área que representa.
  - Fertilizantes aplicados, cantidades, fecha de aplicación, tipo de fertilizante, etc.

10- Posteriormente mantener la muestra en condiciones de baja temperatura, hasta momentos antes de realizar el manejo para el análisis químico, mantenerlo en el refrigerador o en una hielera portátil (con hielo).

En el Cuadro 7, se presenta parte de la planta, etapa de crecimiento y tamaño más adecuado para realizar el muestreo foliar de los cultivos que el programa **MAG-FRUTAL ES** promueve.

**Cuadro 8:** Etapa de crecimiento adecuado para realizar muestreo foliar en diferentes frutales.

Cultivo	Etapa de crecimiento	Parte de la planta a muestrear	Número de plantas por muestra
Mango	Periodo principal de floración	Hoja joven totalmente desarrollada, no senescente, de una rama terminal en crecimiento y de 5-7 meses de edad. La rama debe estar a una altura media de 1.7 m del árbol maduro. En árboles jóvenes de la periferia	4 hojas por árbol de no menos de 25 árboles por unidad de muestreo
Aguacate	Varios meses después del crecimiento, de ramas terminales ni en crecimiento activo ni en fructificación	Hojas plenamente maduras, desarrolladas, no senescentes. Seleccionadas de una rama terminal de crecimiento y de 5-7 meses de edad, la rama debe estar a una altura media del árbol y las hojas tomarse de los cuatro puntos cardinales de la periferia del árbol.	4 hojas por árbol, provenientes de no menos de 25 árboles
Cítricos	Muestreo efectuarse 4-5 meses después del inicio de la etapa de crecimiento principal anual	Hojas completamente desarrolladas. Hoja cuarta de ramas que no estén fructificadas y a una altura de 1.5 m.	4 hojas por árbol. 100 hojas procedentes de no menos de 25 árboles
Marañón	En crecimiento	Hojas maduras, no senescentes, situadas periféricamente en ramas de posición media del árbol	4 hojas por árbol, procedentes de no menos de 25 árboles
Guayaba	Inicio de floración	Tercer par de hojas en ramas no fructíferas	30 - 40 plantas muestreadas
Coco	Hasta 4 años	Hoja 9, contando como primera la hoja más joven extendida	25 plantas muestreadas
	Adulto	Hoja 14, tomando 10 cm. de la porción central de los foliolos	25 plantas muestreadas

## 4. ANÁLISIS FOLIAR

El análisis foliar determina con cierta precisión los parámetros nutricionales de las plantas, sin embargo los resultados obtenidos en el laboratorio no darán parámetros seguros y con cierta precisión si las muestras foliares no han sido recolectadas de manera correcta

y apropiada. De ahí la necesidad de utilizar técnicas apropiadas de muestreo foliar ya investigadas y establecidas, así como saber usar esos parámetros para una correcta interpretación y recomendación de fertilización.

El análisis foliar es un complemento del análisis de suelo, se usa para determinar si el nivel nutricional de la planta es adecuado y programar o ajustar el programa de fertilización que se utiliza. Como técnica de diagnóstico el análisis foliar se basa en que las plantas, hojas y los otros órganos (tallo, ramas, raíces, pecíolos, frutos), requieren una determinada concentración de cada nutrimento esencial para el normal desenvolvimiento de las funciones que en ellos tienen lugar y de las cuales depende la producción.

La hoja es el principal órgano donde se realiza la elaboración de las sustancias para el crecimiento, desarrollo y fructificación, por lo tanto debe reflejar el estado nutricional de la planta mejor que otros órganos. El principio básico del análisis foliar consiste en la comparación entre los resultados del laboratorio y los niveles propuestos como óptimos para un determinado cultivo.

Estos niveles o concentración de nutrientes en las secciones específicas de las plantas han sido obtenidos a través de investigación y experiencia. En realidad el análisis foliar es una pregunta directa a la planta sobre sus problemas de alimentación.

#### 4.1 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA EN EL LABORATORIO

Las muestras frescas que entran al laboratorio se deben someter a limpieza si se observa materiales de suelo o polvo sobre las hojas. Un enjuague con una solución de detergente (2% de concentración) y enjuagadas rápidamente dos veces con agua destilada es **Suficiente**.

Si las muestras no se pueden someter a secamiento inmediato, entonces deben ser guardadas en refrigeración (5 grados centígrados). Las muestras deben ser sometidas a secamiento en hornos de aire forzado a una temperatura de 70° C por un tiempo entre 24 a 48 horas, hasta obtener material completamente seco.

#### 4.2 METODOLOGÍA DE DE TERMINACIÓN

En el análisis foliar se determina el contenido total de cada elemento, el cual es una cantidad constante para una determinada muestra. El proceso consiste en digerir una muestra foliar de 0.5 gramos, debidamente lavada y secada a 70° C y finamente molida (molino Wiley), que pueda pasar una malla de 1 mm (20 mesh), con mezcla de ácidos fuertes (la mezcla nitro perclórica es la más común) en presencia de calor.

**Cuadro 9:** Metodología para análisis foliar usada en los laboratorios del MAG y FUSADES

Elemento	Metodología	Determinación
Nitrógeno total	Microkjeldahl	Digestión ácida
Fósforo total	Digestión húmeda $\text{NO}_3\text{H-HClO}_4$	Colorimetría
Potasio total	Digestión húmeda $\text{NO}_3\text{H-HClO}_4$	Espectrofotometría de emisión
Calcio total	Digestión húmeda $\text{NO}_3\text{H-HClO}_4$	Absorción atómica
Magnesio total	Digestión húmeda $\text{NO}_3\text{H-HClO}_4$	Absorción atómica
Azufre total	Digestión húmeda $\text{NO}_3\text{H-HClO}_4$	Turbidimétrica
Hierro total	Digestión húmeda $\text{NO}_3\text{H-HClO}_4$	Absorción atómica
Cobre total	Digestión húmeda $\text{NO}_3\text{H-HClO}_4$	Absorción atómica
Manganeso total	Digestión húmeda $\text{NO}_3\text{H-HClO}_4$	Absorción atómica
Zinc total	Digestión húmeda $\text{NO}_3\text{H-HClO}_4$	Absorción atómica
Boro total	Vía seca $\text{Ca(OH)}_2$	Colorimétrica

### 4.3 INTERPRETACIÓN

Los resultados del análisis foliar una vez obtenidos en el laboratorio son analizados y comparados con valores estándares obtenidos en diversos estudios e investigaciones. Los valores obtenidos en el laboratorio, no establecen el estado nutricional, sino que expresan una concentración de un nutriente en la planta como un valor que es dependiente de muchos factores, por tanto la comparación con estándares establecidos en muchos cultivos es necesario.

Asimismo, los resultados del análisis foliar de la muestra de un cultivo pueden relacionarse con los rendimientos de las plantas, para explicar cuál o cuáles de los elementos están en condición limitante para una óptima cosecha o cual puede estar en una condición de toxicidad para la planta.

En la evaluación de los datos obtenidos en el laboratorio, se debe tener en cuenta las condiciones de suelo, climáticas y manejo del cultivo, para hacer un diagnóstico del estado nutricional del huerto frutícola y una recomendación o afinamiento del programa de abonamiento.

El nivel crítico de deficiencia foliar, es el contenido de un elemento en cierto tejido indicador, por debajo del cual se espera una respuesta significativa a la aplicación del elemento y por encima del cual no se espera una respuesta.

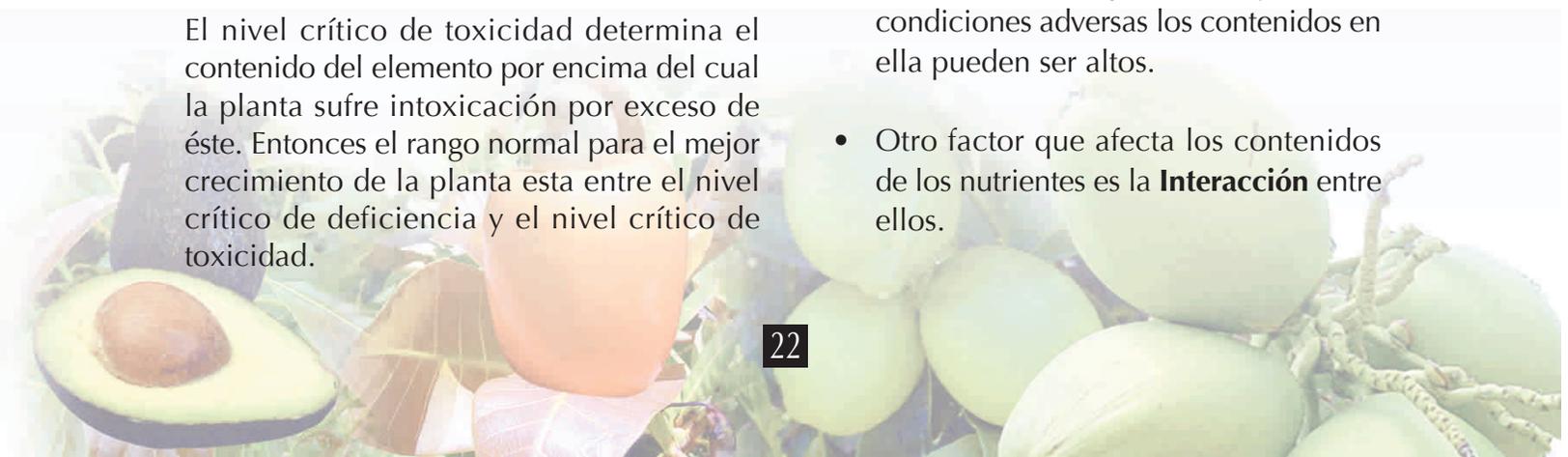
El nivel crítico de toxicidad determina el contenido del elemento por encima del cual la planta sufre intoxicación por exceso de éste. Entonces el rango normal para el mejor crecimiento de la planta esta entre el nivel crítico de deficiencia y el nivel crítico de toxicidad.

La correcta interpretación de los resultados obtenidos en el análisis foliar es la parte más compleja, debido a los múltiples factores que intervienen en el contenido de nutrientes en las hojas. La interpretación requiere en primer lugar, estudios previos para establecer los índices o concentraciones de nutrimentos en hojas que correspondan a un estado de nutrición bajo, medio, adecuado o excesivo del cultivo que se va a diagnosticar, o sea establecer los niveles críticos. Los niveles críticos establecidos a nivel de campo son más confiables que los obtenidos en invernadero.

Los niveles críticos o los rangos publicados en la literatura para cada cultivo son muy importantes como una guía de interpretación de datos obtenidos de los análisis foliares y como tal deben usarse ya que los contenidos de nutrientes varían con las variedades, condiciones climáticas (lluvias, temperatura) y con el suelo.

Para la interpretación de los análisis foliares deben tomarse en consideración ciertos factores como:

- **El Efecto de Dilución:** plantas que crecen rápido debido a un clima favorable presentan contenidos bajos de nutrientes, porque los nutrientes absorbidos son distribuidos en un mayor contenido de materia seca. Por el contrario si la planta crece lentamente debido a una temperatura baja u otras condiciones adversas los contenidos en ella pueden ser altos.
- Otro factor que afecta los contenidos de los nutrientes es la **Interacción** entre ellos.



**Cuadro 10a:** Tabla de niveles críticos de macronutrientes foliares para algunos cultivos.

Cultivo	Unidad en %					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Aguacate	1.6-2.0	0.08-0.25	0.8-2.0	1.0-3.0	0.3-0.8	0.2-0.6
Limón	2.2-2.7	0.1-0.3	1.0-2.0	1.5-4.0	0.2-0.5	-
Mango	1.0-1.5	0.08-0.25	0.4-0.9	2.0-5.0	0.2-0.5	-
Coco	1.8-2.1	0.11-0.12	1.2-1.4	-	0.25-0.35	-
Guayaba	1.25-1.7	0.15-0.20	1.25-1.75	0.8-1.75	0.25-0.50	

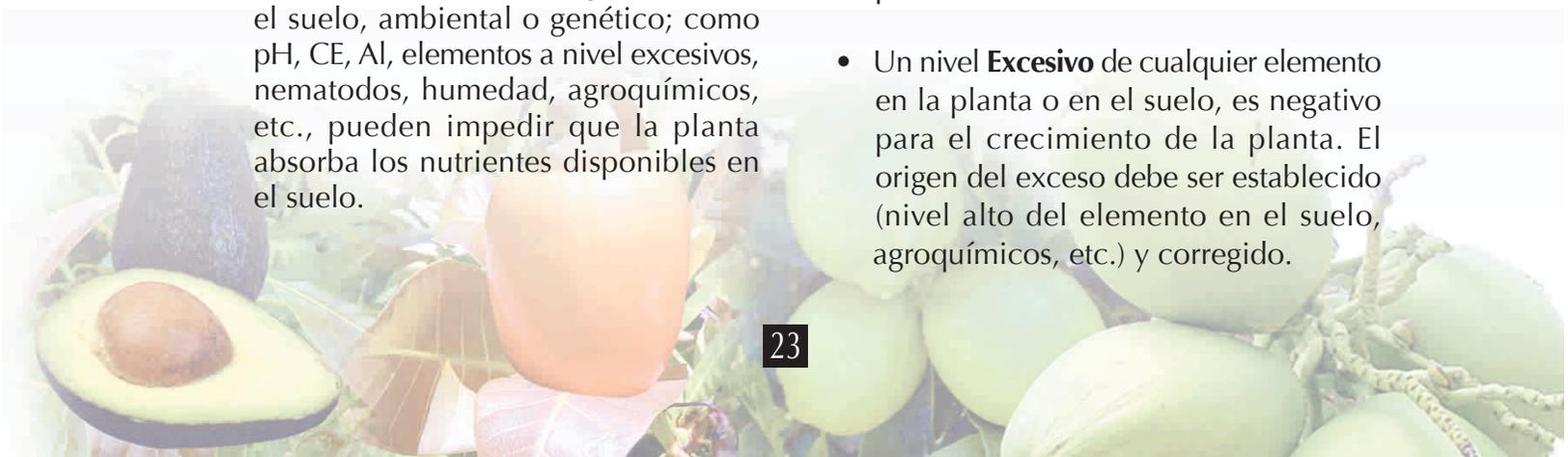
**Cuadro 10b:** Tabla de niveles críticos de micronutrientes foliares para algunos cultivos.

Cultivo	Unidad en ppm					
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Mo
Aguacate	50-100	5-15	50-200	30-500	30-150	0.1-1.0
Limón	20-200	5-100	60-100	20-200	20-50	0.3-3.0
Mango	25-150	7-50	50-250	50-250	20-200	-
Coco	8-10	5-7	-	60-120	15-24	-

- **Antagonismo (inhibición mutua):** es bien conocido que las aplicaciones de Fósforo disminuye el contenido foliar del Zinc o que la aplicación de Potasio disminuye el contenido de Calcio y Magnesio
- **Sinergismo (ayuda mutua):** o sea que en ausencia de Fósforo y Potasio, el contenido de Nitrógeno es más bajo que en su presencia.
- Si el nivel de N, P, K, Mg y S es **Deficiente** en el suelo y **Suficiente** en la planta, se deberá aplicar la recomendación al suelo, pues el suelo no podrá mantener los niveles de suficiencia en la planta a largo plazo. Si el nivel de alguno de los elementos mencionados es **Excesivo** en la planta, las aplicaciones deben suspenderse temporalmente.

#### 4.4 CONSIDERACIONES EN LAS RECOMENDACIONES CON BASE EN EL ANÁLISIS FOLIAR

- Si el nivel de cualquier elemento es **Deficiente** en la planta y **Suficiente** en el suelo, se debe seguir la recomendación foliar. Algún factor en el suelo, ambiental o genético; como pH, CE, Al, elementos a nivel excesivos, nematodos, humedad, agroquímicos, etc., pueden impedir que la planta absorba los nutrientes disponibles en el suelo.
- Si el nivel de algún micro nutriente es **Suficiente** o **Excesivo** en la planta y **Deficiente** en el suelo, significa que el micro nutriente ha sido añadido con agroquímicos foliarmente, la planta lo obtiene del subsuelo o el elemento ha sido acumulado en el tejido por su condición perenne, por lo tanto no se debe seguir la recomendación al suelo por el ciclo de cultivo actual.
- Un nivel **Excesivo** de cualquier elemento en la planta o en el suelo, es negativo para el crecimiento de la planta. El origen del exceso debe ser establecido (nivel alto del elemento en el suelo, agroquímicos, etc.) y corregido.



- Cuando el nivel de un nutriente es **Deficiente** en la planta y en el suelo, se deben realizar ambas aplicaciones. La aplicación foliar corrige las deficiencias inmediatamente, pero no permanen-

temente. La dosis al suelo tarda en corregir las deficiencias presentes en la planta, pero evita que se mantengan o aparezcan posteriormente.

## 5. COMPORTAMIENTO DE LOS NUTRIENTES EN SU ABSORCIÓN EN LA PLANTA.

### 5.1 EN SU ABSORCIÓN A NIVEL DEL SUELO.

La mayoría de los elementos son absorbidos por el sistema radicular y trasladados a todas las partes de la planta por los conductos conocidos como Xilema, que son tejidos conductores formados por un sistema de tubos continuos a través del tallo, por el cual los elementos son movilizados a todas las partes de la planta. El agua con los nutrientes disueltos, llamado la solución del suelo, se mueve del suelo a las raíces; en esta forma los nutrientes son absorbidos por las raíces de la planta por diferentes mecanismos que son:

#### 5.1.1 FLUJO DE MASA.

Es la forma por la cual los elementos se mueven a través del suelo con el agua en movimiento; los elementos que presentan mayormente este movimiento son: Nitrógeno (N), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S), y Molibdeno (Mo).

#### 5.1.2 DIFUSIÓN

Mecanismo por medio del cual los nutrientes disueltos se mueven hacia las raíces, de áreas de mayor concentración de nutrientes a áreas de concentraciones más bajas; creando un

gradiente de concentración en la solución del suelo, próximo a la superficie de las raíces, ocasionando el movimiento por difusión de los nutrientes. Los elementos que mayormente se mueven por este fenómeno son: Fósforo (P) y Potasio (K).

#### 5.1.3 INTERSECCIÓN RADICULAR

Este mecanismo se basa en el crecimiento que experimentan las raíces, extendiéndose a nuevas áreas del suelo, donde se encuentran o interceptan con nutrientes de la solución para ser absorbidos por este mecanismo. El porcentaje de movimiento de los nutrientes es bajo.

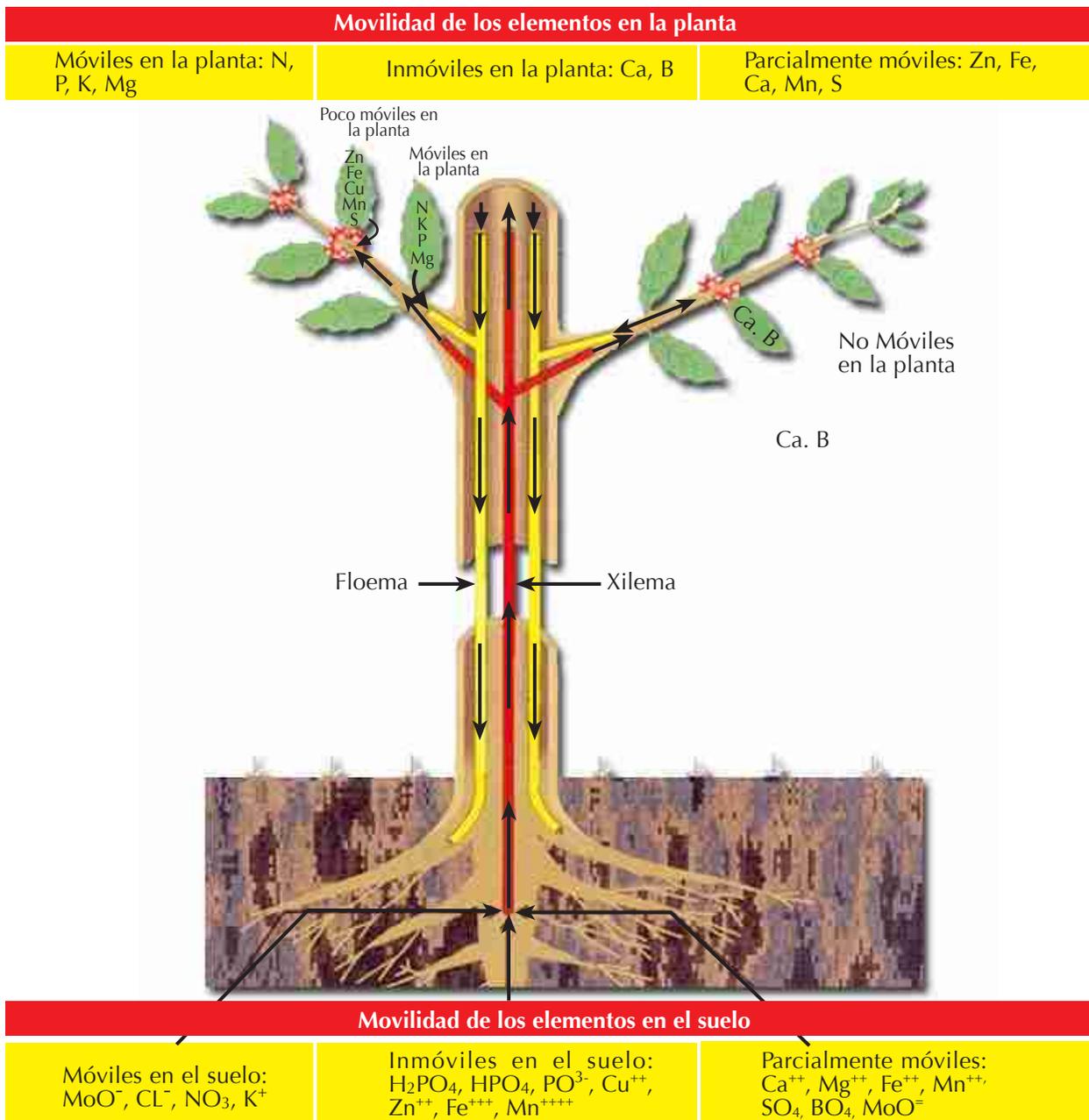
El nivel de disponibilidad de un nutriente a nivel del suelo, depende de las siguientes condiciones: de la capacidad de absorción del cultivo, del desarrollo o crecimiento del sistema radicular, de las condiciones climáticas y de la disponibilidad de otros nutrientes.

### 5.2 DENTRO DE LA PLANTA.

La distribución y el traslado de los nutrientes dentro de la planta, dependen de la actividad metabólica de los tejidos vivos en los diferentes órganos.



**Figura 10:** Movilidad de los elementos en la planta y en el suelo



Los compuestos nitrogenados y los de Fósforo y Azufre, son altamente móviles pues pasan a los órganos poco activos de los tejidos jóvenes en desarrollo; el Potasio es un elemento extremadamente móvil, mientras que el Magnesio, Cloro y Sodio se clasifican como móviles; los elementos Hierro, Manganeso, Zinc, Cobre y Molibdeno su movilidad es intermedia (poco móviles) en la planta, por lo que se requiere un suministro constante para la formación de nuevos tejidos.

Los elementos como Calcio y Boro, su movilidad es muy baja o no se movilizan una vez que han sido distribuidos dentro de la planta y localizados en la corriente floemática donde el pH tiende a ser alcalino, hay presencia de cargas negativas en la pared celular del floema y los compuestos orgánicos se disocian totalmente, además el Calcio y Boro son atrapados por las cargas negativas.

La entrada de los nutrientes, cuando son aplicados en forma foliar, lo hacen a través de los estomas (que son válvulas microscópicas situadas en el envés de las hojas) y en mínimas cantidades por la cutícula (delgada capa de cera que ayuda a proteger a la planta de la deshidratación), su traslación es por el floema (tejido conductor de materiales alimenticios); siendo las hojas más jóvenes las que mejor absorben los nutrientes comparadas a las hojas viejas.

La superficie inferior de la hoja absorbe de 3 a 5 veces más que la superficie superior debido a que la cutícula es más delgada, hay mayor cantidad de estomas y los vasos floemáticos están más cerca.

### 5.2.1 FACTORES QUE AFECTAN LA ABSORCIÓN FOLIAR.

#### *a) Temperatura.*

A medida que aumenta la temperatura, por ejemplo, entre los 20 y 26 grados centígrados, la cutícula se ablanda y el agua es más fluida, aumentando entonces la absorción de la solución foliar aplicada.

Después de los 28 grados centígrados comienza a producirse un secado superficial, disminuyendo la penetración de la solución.

#### *b) Humedad relativa.*

Al aumentar la humedad relativa ambiental se posibilita la mayor permanencia de las gotas de solución en la superficie foliar, aumentando la posibilidad de su absorción.

#### *c) Edad de la hoja.*

Las hojas jóvenes tienen una mayor capacidad de absorción que las viejas.

#### *d) Características químicas de la solución aplicada.*

Compuestos a base de sales (nitrogenados, sulfatado, y óxidos) Estos compuestos inorgánicos son adecuados para ser absorbidos vía estoma, por lo que su absorción es apenas un 50% de lo aplicado.

Tienen las características de ser moléculas de gran tamaño. El peso y el tamaño de dichos productos inciden directamente en la velocidad de absorción y traslocación de los nutrientes, pudiendo ser de 1 a 2 semanas, dependiendo del elemento; sin embargo, dichos productos poseen la ventaja de ser de bajo costo y presentar alto contenido de nutrimentos en el producto formulado.

- **Quelatos Sintéticos**

La molécula quelatizadora rodea la carga positiva del elemento y lo protege en forma quelatizada para que no sea fijado químicamente. Los Quelatos sintéticos presentan un tamaño de molécula intermedia. Su velocidad de absorción y traslocación es mayor que los compuestos con base en sales (de 1 a 7 días dependiendo del nutriente).

- **Quelatos orgánicos de aminoproteínas**

Son minerales quelatizados con aminoácidos derivados de proteínas vegetales hidrolizadas; tienen las características de poseer un tamaño de molécula más pequeña, la velocidad de absorción y traslocación es más rápida que las anteriores (tiempo en horas), dicha absorción se realiza en su mayor porcentaje a través células epidérmicas, en una acción de absorción intra e intercelular.



**Cuadro 11:** Tiempo aproximado requerido para la absorción del 50% del elemento aplicado en forma foliar.

Nutrimento	Nitrogenadas Sulfonadas y Óxidos	Quelatos Sintéticos	Quelatos orgánicos de aminoproteínatos
Nitrógeno (urea)	1 a 6 horas	1 a 6 horas	12 minutos
Fósforo	15 días	7 a 11 días	- 2 horas
Potasio	4 días	2 días	- 1 hora
Calcio	6 días	3 días	- 2 horas
Magnesio (20%)	5 horas	1 hora	- 1 hora
Azufre	12 días	8 días	- 2 horas
Hierro (8%)	2 días	24 horas	- 2 horas
Manganeso	2 días	24 horas	- 3 horas
Zinc	3 días	26 horas	- 2 horas

### 5.3 CRITERIOS PARA LA APLICACIÓN

La interpretación de los análisis para fines de fertilidad, se basan en dos criterios: El primero se conoce como Nivel Crítico; el cual se basa en la existencia de un nivel adecuado de un determinado nutriente para obtener una máxima producción.

Los nutrientes manejados mediante dicho criterio son: Nitrógeno (N), Fósforo (P), Azufre (S), Boro (B), Zinc (Zn), Manganeso (Mn), Hierro (Fe) y Cobre (Cu).

La cantidad de nutriente aplicado es determinado mediante una simple diferencia de valores así: a la cantidad de nutriente considerado como adecuado según la producción, se le resta el valor encontrado como disponible en el suelo a través del análisis químico.

Ejemplo: para una producción de limón pèrsico de 225 qq/Mz demanda una cantidad de Fósforo de 25 PPM (Partes Por Millar).

El resultado del análisis de suelo presenta un contenido de Fósforo en el suelo de 16 PPM.

Necesidad de fertilizante = Nivel adecuado – Nivel disponible en el suelo = Nivel requerido o faltante.

$$NF = 25 \text{ PPM} - 16 \text{ PPM} = 9 \text{ PPM}$$

El segundo criterio es el de saturación de bases, en el cual la máxima producción es obtenida a través de relaciones ideales en porcentaje entre el Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Potasio (K).

Requerimiento en porcentaje para cumplir lo óptimo mediante este criterio: Calcio 65%, Magnesio 18% y potasio 8%, dentro de la capacidad de intercambio catiónico total del suelo (CICT).

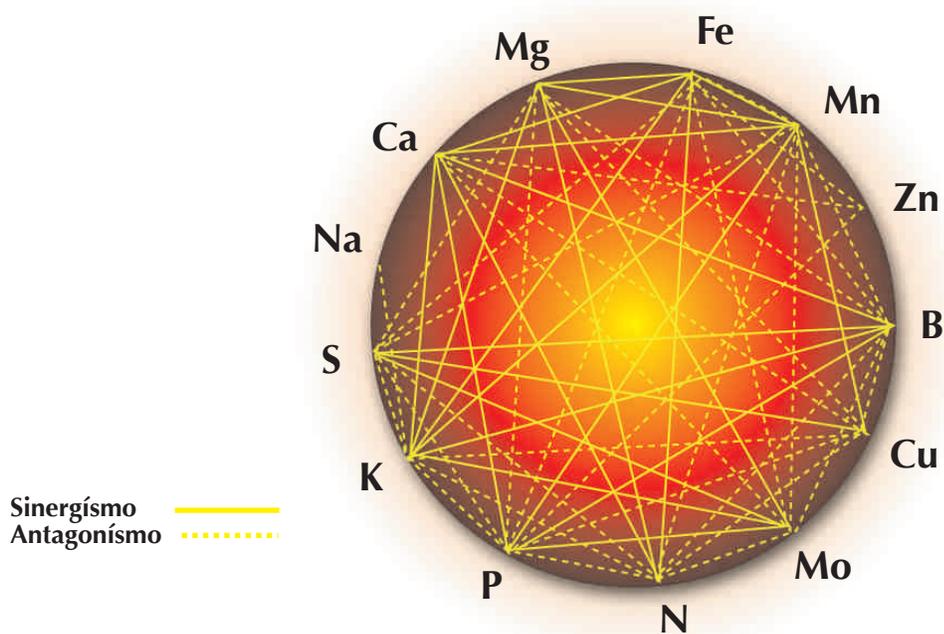
## 5.4 INTERACCIÓN DE LOS MINERALES EN LAS PLANTAS EN LAS PLANTAS

Todos los minerales obran entre sí y actúan sobre los otros, provocando sinergismo y antagonismos. Esto se aprecia muy claramente en el círculo de Mulder o carta de interacción de los minerales, que describe las respuestas típicas de las plantas.

Ejemplo: los altos niveles de fósforo del suelo o en la hoja competirán con el Magnesio, Hierro, Zinc y Cobre en la asimilación. La planta necesitara grandes cantidades de estos nutrientes minerales para desarrollar sus funciones metabólicas normales.

Figura 11: Relación de los Minerales en la planta y el suelo.

### Relación de los minerales en la planta y el suelo (Mulder\*)



## 6. COMPORTAMIENTO DE LAS FUENTES EN LA LIBERACIÓN DE LOS MACRONUTRIENTES

### 6.1 ELEMENTOS NUTRITIVOS

Las plantas absorben dióxido de carbono del aire y agua del suelo, con esta sustancia las plantas disponen de tres elementos en abundancia: Carbono, Hidrógeno y Oxígeno. De éstos el Carbono y el Oxígeno forman la mayor parte de la materia seca de la planta, pero el elemento que verdaderamente caracteriza a las sustancias orgánicas es el Carbono.

Sin embargo las sustancias y compuestos que forman los tejidos de las plantas contienen otros elementos químicos, aunque algunos elementos químicos no forman parte de estos compuestos, desempeñan funciones importantes en la planta.

Aunque las plantas puedan absorber en mayor o menor cantidad numerosos elementos químicos que se encuentran en el suelo, solo son esenciales aquellos que cumplan las siguientes condiciones:

- La deficiencia de un elemento esencial imposibilita que la planta complete las etapas vegetativas y reproductivas de su ciclo de vida.
- La falta o deficiencia solo puede ser prevenida o corregida, suministrando el elemento en cuestión y no otro.
- El elemento considerado está directamente relacionado con la nutrición de la planta, bien por ser un constituyente de alguna sustancia importante, bien por realizar funciones específicas necesarias en ella.

Se consideran esenciales para la planta los siguientes elementos: C, O<sub>2</sub>, H, N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, B, Cl. Todos ellos son igualmente necesarios, variando únicamente en las cantidades que se utilizan.

El Carbono, Hidrógeno y Oxígeno los toman las plantas del aire y del agua, los restantes deben ser suministrados por el suelo.

Se acostumbra agrupar estos elementos según las cantidades que de ellos necesitan las plantas y su importancia práctica. Los

elementos que las plantas consumen en grandes cantidades se llaman **Macroelementos** y los otros que son necesarios pero los consumen en cantidades muy pequeñas se llaman **Microelementos**.

- **Macroelementos primarios:** son aquellos que las plantas necesitan en cantidades relativamente grandes y que con frecuencia son escasos en el suelo: N; P; K.
- **Macroelementos secundarios:** son aquellos que las plantas consumen en cantidades relativamente grandes, pero cuya escasez en el suelo no es frecuente: Ca, Mg, S.
- **Microelementos:** son necesarios para la planta pero en cantidades pequeñas: Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Cl.

## 6.2 TERMINOLOGÍA SOBRE FERTILIZANTES UTILIZADOS

**Fertilizante:** Cualquier material orgánico o inorgánico de origen natural o sintético que se agrega al suelo con el propósito de proveer de nutrientes a las plantas.

**Cuadro 12:** Esencialidad de elementos minerales para las plantas (Epstein, 1972)

Elemento	Plantas superiores	Algas	Hongos	Bacterias
N, P, K, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, S	+	+	+	+
Ca	+	+	+-	+-
B	+	+-	-	-
Cl	+	+	-	+-
Mo	+	+	+	+-
Na	+-	+-	-	+-
Se	+-	-	-	-
Si	+-	+-	-	-
Co	-	+-	-	+-
I	-	+-	-	-
V	-	+-	-	-

(+) Esencial para el grupo. (-) No se conoce que sea esencial.  
 (+-) Esencial para algunos y no esencial a otros miembros del grupo.

- **Mezcla de fertilizante:** es la combinación que contiene dos o más materiales fertilizantes.
- **Fertilizante compuesto:** son aquellos productos que contienen más de uno de los elementos primarios.
- **Fertilizantes compuestos o de mezclas:** son aquellos que se obtienen por simple mezcla de dos o más abonos simples para conseguir el análisis deseado, no se desarrollan reacciones químicas. En esta mezcla los elementos nutritivos están juntos pero en partículas diferentes e independientes unos de otros.
- **Fertilizante complejo:** son aquellos fertilizantes que reúnen dos o más elementos por medio de la combinación o reacciones químicas de varios de ellos, en este caso los componentes están ligados entre si en cada partícula o granulo del abono por fina que esta sea.
- **Grado de fertilizante:** se refiere a la garantía mínima de la riqueza de nutrientes en términos de Nitrógeno total, fósforo asimilable ( $P_2O_5$ ) o aprovechable y Potasio soluble ( $K_2O$ ). Ej.: 12-24-12
- **Proporción del fertilizante:** se refiere a la relación que tienen los elementos N;  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  entre ellos. Ej.: el grado 12-24-12 tiene una proporción 1-2-1.
- **Formula del fertilizante:** es la relación que expresa la cantidad y la clase de materias primas usadas en una mezcla Ej.:

600 Kg de Sulfato de amonio	20% N = 120 Kg N
300 Kg de Superfosfato simple	20% $P_2O_5$ = 60 Kg $P_2O_5$
100 Kg de Cloruro de potasio	60% $K_2O$ = 60 Kg $K_2O$
<b>1000 Kg</b>	

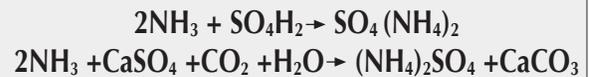
Esta fórmula da el grado 12-6-6 cuya relación de elementos fertilizantes es 2-1-1

## 6.3 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS FERTILIZANTES MÁS UTILIZADOS

### 6.3.1 FUENTES NITROGENADAS

#### a. Sulfato de Amonio.

El Sulfato de Amonio  $(NH_4)_2SO_4$  se obtiene de la reacción del amoníaco con el ácido sulfúrico o con sulfato cálcico:



Sal cristalina blanca o dorada a blanca, contiene 20-21 % de N (94.3 - 99.1% de pureza) y 23 - 24% de S. El N totalmente en forma amoniacal, el ión amonio por su carga positiva es retenido temporalmente por la fracción coloidal del suelo, la lixiviación del N no ocurre hasta que se convierte en nitrato, el cual por su carga negativa no es atraído por las partículas del suelo y por eso se lixivia.

Es una sal inorgánica muy soluble en agua (solubilidad 754 g/litro a 20° C) y poco higroscópico (absorbe poco la humedad) si es granulado, esta aumenta si los cristales son finos. El Sulfato en el suelo desarrolla una doble acción ácida, es decir del  $NH_4$  que aporta el abono, la planta aprovecha el N y suelta  $4H$  esta es la razón porque es el nitrogenado que más acidifica el suelo.

Con relación a su alta solubilidad y lavado de bases, tal efecto alcanza incluso al Aluminio intercambiable ( $Al_3$ ) evitando hasta cierto punto la acumulación de éste, que es muy dañino para las raíces de las plantas.

Por lo tanto, una alternativa es usarlo como fuente de S y completar las necesidades de N con otras fuentes como la Urea o el Nitrato de Amonio.

La proporción a utilizar podría ser una parte de S por cada cuatro partes de N. Para evitar el problema de acidificación se requieren 5.2 unidades de  $\text{CaCO}_3$  por cada unidad de N aportado por el Sulfato de amonio (5.2 lb. de  $\text{CaCO}_3 \times 21 \text{ lb. de N} = 109.2 \text{ lb. de CaCO}_3$  por 100 lb. de Sulfato de amonio).

El sulfato de amonio es compatible con DAP, fertilizantes complejos, Sulpomag. También es compatible con MOP, SPS, Urea, Nitrato de Amonio solo en el momento de su uso, para evitar apelmotonamiento (caking) en bodega.

El sulfato de amonio es incompatible con Fosforitas, Cales (por pérdidas de N por volatilización). Una copa Bayer de 25 cc contiene 23.5 gramos de Sulfato de amonio.

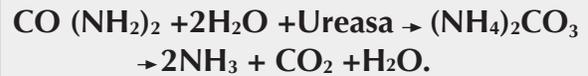
### b. Urea.

La Urea se conoce con el nombre de Carbamida y su fórmula es  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ . Es producto de origen orgánico. Se produce mediante la reacción del Amoníaco con Dióxido de Carbono bajo presión y temperatura elevada:



Es el sólido más rico en N, ya que posee una concentración del 45-46 % de N (98.7 % de pureza), es hidróscopica, muy soluble en agua (1 Kg./litro a 20° C), se produce granulada perlitas, aunque también la fabrican cristalizada y en polvo, puede aplicarse al suelo como sólido, solución o foliar.

En el suelo al entrar en contacto con agua y en presencia de la enzima ureasa (que existe en todos los suelos), se hidroliza formando Carbonato de Amonio que es inestable y puede disociarse en agua,  $\text{CO}_2$  y Amoníaco:



El amoníaco reacciona con la solución del suelo para formar el amonio, el cual por acción de microorganismos lo convierten a nitrato. El efecto inicial sobre la reacción del suelo es alcalino (amoniacal), luego de la nitrificación, puede llegar a ser ácida.

En el proceso de fabricación se produce un compuesto tóxico para las plantas "biuret".

La máxima cantidad de *biuret* que puede contener la urea es de un 2%, aunque si se usa en aplicaciones foliares su concentración no debe exceder el 0.25%.

Por su rápida hidrólisis si la urea se aplica a una superficie desnuda o a un terreno cubierto de césped, pueden perderse cantidades significativas de amoníaco por volatilización, también se pierde N si se aplica en suelo seco, o si la temperatura ambiental o la del suelo es alta. La urea se disuelve y se mueve con la solución del suelo y puede perderse por lixiviación si no se convierte al amoníaco y eventualmente a amonio.

El máximo aprovechamiento de la urea se obtiene incorporándola, o cuando se esparce en las primeras horas del día por la humedad acumulada en el suelo (facilita el movimiento de la Urea). Se requiere 1.83 unidades de  $\text{CaCO}_3$ , por cada unidad de N aportado por



la Urea (84 lbs de cal por cada quintal de Urea). El contacto prolongado con la piel produce irritación e incluso peladuras.

La Urea es compatible con fosforitas, MOP, Sulpomag, cales. También es compatible solo en el momento de usarlo con SPS, DAP, complejos y sulfato de amonio. Es incompatible con Nitrato de amonio. Una copa Bayer al ras contiene 18 gramos de Urea.

#### c. Urea-Azufre o Sulfourea.

La Sulfourea contiene 40% de N y 10% de S. Es un fertilizante de liberación lenta.

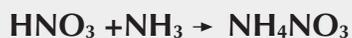
#### d. Amoníaco anhidro NH<sub>3</sub>.

Se obtiene de la combinación del N y del H, bajo diferentes condiciones de presión y temperatura. Es el abono de mayor riqueza, contiene 82% de N, exclusivamente en forma amoniacal.

Debe ser almacenado en depósitos especiales de alta presión y su aplicación directa se realiza con equipo especial que inyecta el Amoníaco a presión en el suelo.

#### e. Nitrato de amonio (NH<sub>4</sub>) NO<sub>3</sub>

Es una sal inorgánica, se obtiene de la combinación del amoníaco y ácido nítrico, en la reacción:



Contiene 33.5% de N, (95.7% de pureza), es una sal cristalina, muy higroscópico, por lo que su aplicación debe ser inmediata a la apertura del empaque. Su solubilidad es alta 1,874 gr/litro a 20° C.

Tiene dos formas de N: nítrica y amoniacal. Con fuerte tendencia a atterrarse en bodega, su reacción en el suelo es ácida. Por la forma de su acción, su efecto es rápido (NO<sub>3</sub>) y gradual (NH<sub>4</sub>). Por su alto poder oxidante, en combinación con aceites u otros productos orgánicos forma una mezcla explosiva

Se requiere 1.76 unidades de CaCO<sub>3</sub> por cada unidad aportada por el nitrato de amonio. Su compatibilidad es limitada con Sulpomag. Posee compatibilidad solo al momento del uso con: complejos, DAP, Sulfato de amonio, MOP, SPS (para evitar por caking en bodega y/o perdidas de N por acidificación), incompatible con Urea y cales.

#### f. Nitrosulfato amónico

Se obtiene de la neutralización de los ácidos nítrico y sulfúrico con amoníaco. Su riqueza es de 26% N, con dos formas de N: 25% N nítrico y 75% N amoniacal. Muy soluble y de carácter bastante ácido.

#### g. Nitrato cálcico Calcit Ca (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>

Se obtiene de la reacción del ácido nítrico con piedra caliza:



Contiene 15 - 16 % N. El N esta prácticamente todo en forma nítrica. Soluble en agua y muy giroscópico, Es fácilmente utilizado por las plantas, siendo su efecto bastante rápido. Tiene carácter neutro a ligeramente alcalino.

### 6.3.2 SOLUCIONES NITROGENADAS.

Con la mezcla en diferentes proporciones de Amoníaco, Nitrato de amonio y Urea disuelta

en agua se obtienen diversas soluciones nitrogenadas con riquezas que varían del 21 al 41 % de N.

Estas soluciones son fácilmente manejables con equipo de baja presión para su aplicación directa al suelo.

Su comportamiento en el suelo y demás propiedades son análogas a las de sus componentes, siendo en todo caso de reacción final ácida. Los cinco tipos más utilizados de soluciones nitrogenadas son:

- Nitrato amoníaco y amoníaco en solución.
- Urea y amoníaco en solución.
- Amoníaco en solución.
- Nitrato amónico y Urea en solución
- Urea en solución

### • Consideraciones

La principal característica del Nitrógeno en forma de nitrato (anión, carga negativa), es su gran movilidad en el suelo. Los abonos amoniacales (catión, carga positiva), aunque móviles son fácilmente retenidos por la arcilla y la materia orgánica hasta que por la nitrificación son convertidos en nitratos.

Lo más importante para conseguir una alta efectividad del Nitrógeno utilizado, consiste en aplicarlo de tal forma que el cultivo disponga de él a lo largo de su desarrollo. Para ello deberán aplicarse las formas nítricas en los periodos de máximo consumo, cuando el desarrollo del cultivo es más intenso.

Las formas amoniacales, se deben aplicar en los periodos de menor necesidad o también en los periodos críticos, con la suficiente antelación que permita la nitrificación. Otra consideración es el uso de los abonos nitrogenados en su acidez. El uso continuado de abonos de reacción ácida en el suelo puede hacer descender el pH del suelo.

**Cuadro 13:** Características de fertilizantes de Nitrógeno.

Tipo de fertilizante	% N	Incorporado en el suelo	En la superficie del suelo	Efecto sobre el pH del suelo		Cantidad en lbs cal x 100 lbs fertilizante
				Inmediato	Residual	
Nitrato amónico	33.5	Si	Si	N	MA	60
Sulfato de amonio	20.5	Si	Si	N	FA	110
Fosfato monoamónico	11.0	Si	No	N	FA	59
Fosfato diamónico	18-21	Si	No	AL	MA	70
Amoníaco anhidro*	82.0	No	No	FAL	MA	148
Urea	46.0	Si	No	PAL	MA	84
Nitrato de calcio	15.5	Si	Si	MPAL	AL	20
Nitrato de potasio	15.5	Si	Si	MPAL	AL	23

Fuente: Tzul Luis, CITRI-NEWS, junio-sept 2004.

\*Se requiere equipo especial para aplicar.

N: neutro; MA: moderadamente ácido; FA: fuertemente ácido; AL: alcalino; PAL: poco alcalino; MPAL: muy poco alcalino.

Por último, se debe considerar que las pérdidas de los nitrogenados son más acusadas en suelos ligeros, de textura gruesa, por lo que en ellos conviene administrar con más cuidado el Nitrógeno que se aporte al cultivo.

### 6.3.3 FUENTES FOSFÓRICAS

Los fosfatos naturales o rocas fosfatadas (son esencialmente fosfatos de Calcio o sea apatitas), son la materia prima para la elaboración de fertilizantes fosfatados. La solubilidad de los fosfatos aumenta entre más pareja sea la relación P: Ca. Así el fosfato monocalcico es más soluble que el dicalcico, y éste lo es más que el tricalcico, siendo la forma más insoluble la apatita o roca fosfórica

#### h. Fosfato natural o roca fosfórica

La apatita finamente molida es lo que se conoce como roca fosfórica, es insoluble, con una riqueza de  $P_2O_5$ , alrededor de 32%, sin embargo la parte asimilable es un 10%.

Existen fosfatos naturales con más blandura o solubilidad que otros, dependiendo de:

- El origen geológico, como las apatitas de África que son más solubles que las de Rusia.
- Según el pH del suelo, a medida el pH baja o se acidifica, la solubilidad de la roca aumenta en forma exponencial.
- Según el tamaño del granulo o grado de molienda, entre más fina, se aumenta la superficie de las partículas, se logra una mejor distribución de la roca fosfórica en el suelo y se multiplica el contacto

con las raíces, facilitando el ataque por microorganismos.

El efecto es nulo en suelos alcalinos, solo se le da importancia en los suelos ácidos con pH menor de 5.0.

#### i. Superfosfato simple, SPS, 0-20-0

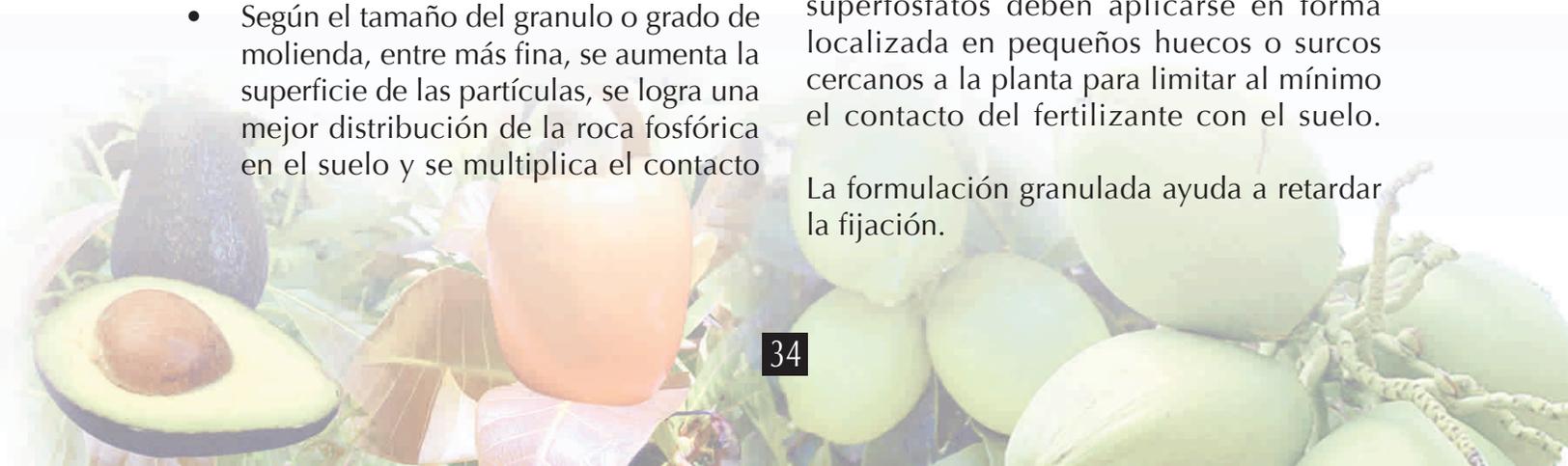
Es una sal inorgánica, con 20 % de  $P_2O_5$ . Se produce de la reacción del ácido sulfúrico y del ácido fosforito sobre los fosfatos naturales. Su constituyente principal es el fosfato monocalcico,  $Ca (H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$  en un 30 %, luego el bicalcico  $CaHPO_4 - 2H_2O$ , en un 5%, y el resto esta constituido por sulfato de Calcio (yeso)  $CaSO_4$ .

Es un producto granulado de color marrón a gris. Tiene un olor característico por el ataque de la fosforita con ácido sulfúrico, existiendo también en polvo. Es moderadamente soluble en agua, debido al fosfato monocalcico ya que el bicalcico es insoluble. No es giroscópico.

Es de reacción ácida. El producto comercial contiene 28 - 30% de CaO. Es un fertilizante de efecto rápido, se recomienda como fertilizante de fondo. En terrenos ácidos puede suceder que los fosfatos de Calcio sean transformados en fosfatos de Fe y de Al que son pocos o nada aprovechables por la planta.

Es compatible con MOP, Sulpomag, Sulfato de amonio. En suelos altamente fijadores de P, alofanicos o de características ácidas, los superfosfatos deben aplicarse en forma localizada en pequeños huecos o surcos cercanos a la planta para limitar al mínimo el contacto del fertilizante con el suelo.

La formulación granulada ayuda a retardar la fijación.

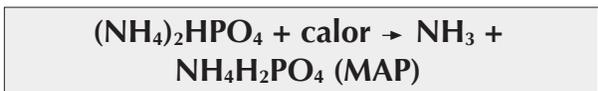


**Cuadro 14:** Los efectos del pH del suelo sobre la disponibilidad de Fósforo

PH del suelo	Disponibilidad de P	Comentarios
8.0	Baja	Mucho del Fósforo se encuentra en forma de fosfato tricálcico, de muy baja disponibilidad
7.0	Alta	Los compuestos de Fósforo son más disponibles
6.0	Alta	Los compuestos de Fósforo son más disponibles
5.0	Baja	Los compuestos de Fósforo se combinan con Hierro, Aluminio, y Manganeso y son de baja solubilidad
4.0	Baja	

**j. Fosfato diamónico, DAP, 18-46-0  
(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> HPO<sub>4</sub>**

Es sal inorgánica, granulada cristalina, color blanco a gris, muy soluble en agua, levemente giroscópico, de reacción alcalina débil a neutra:



Debe conservarse en un ambiente fresco y el saco bien cerrado. No implica problemas para la localización cerca de la semilla. De fácil y completa solubilidad. Es compatible con Sulfato de amonio, MOP, Sulpomag y complejos. Con Urea y Nitrato de amonio solo al momento de aplicación.

Es incompatible con cales, razón por la cual no se debe mezclar para evitar pérdidas de N por volatilización. Una copa Bayer es igual a 18 gramos de DAP

**6.3.4 FUENTES POTÁSICAS**

Todas las fuentes potásicas son sales totalmente solubles en agua. Existen sales de color rosadas y blancas pero no presentan diferencias en su acción. Esta coloración se

debe a impurezas de Fe. Las fuentes más importantes son: Muriato de potasio, sulfato de potasio y Sulpomag.

**a. Cloruro o Muriato de Potasio, MOP, 0-0-60., KCl**

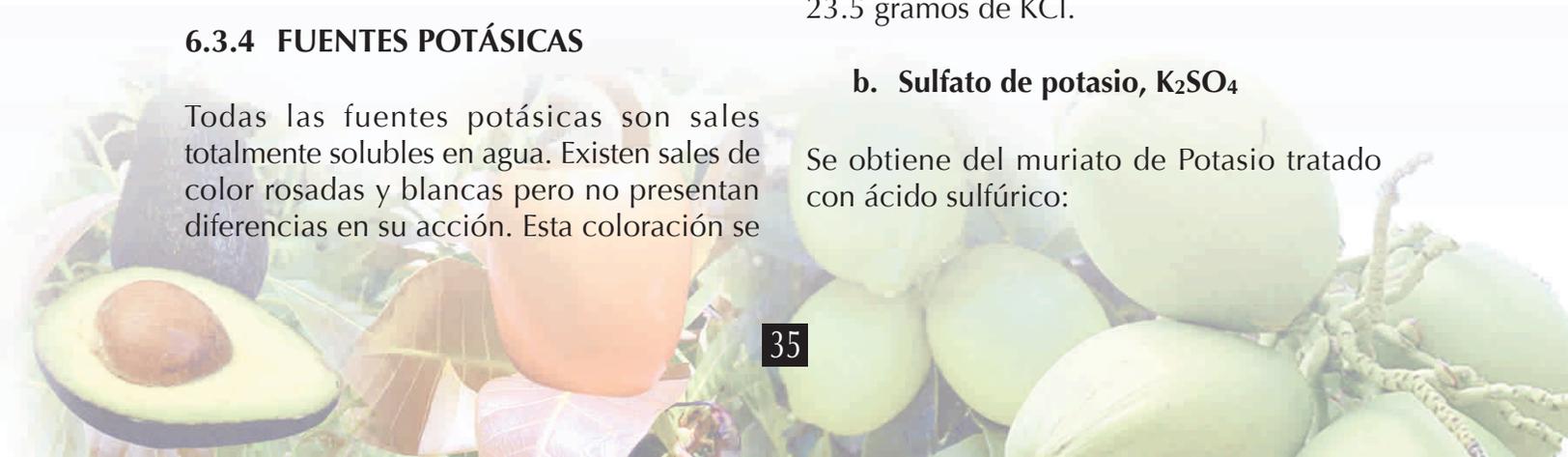
Es una sal cristalina, altamente soluble (100%), de color blanco al rojo, bastante giroscópica, su riqueza oscila de 60 a 63 % K<sub>2</sub>O y 47% Cl y de reacción neutra, es muy corrosivo para los metales.

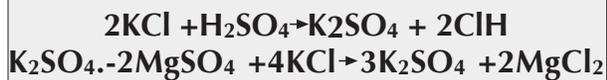
Se aconseja usarlo en aplicaciones de fondo. Es compatible con todos los fertilizantes, no provoca problemas de acidificación en los suelos por ser una sal neutra. Compatible con DAP, SPS, Urea, Sulpomag, complejos.

Compatible solo al momento de aplicación con Sulfato de amonio y Nitrato de amonio (para evitar caking en bodega) y con sales por la formación de sales dobles de relativa baja solubilidad. Una copa Bayer contiene 23.5 gramos de KCl.

**b. Sulfato de potasio, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**

Se obtiene del muriato de Potasio tratado con ácido sulfúrico:





Es soluble en 100%, contiene 50-53 %K<sub>2</sub>O y 18% S. Es menos higroscópico que el muriato y presenta reacción neutra.

### c. Sulpomag, Sulfato de Potasio y Magnesio, SKMg

Es sal inorgánica con un contenido de 22 % K<sub>2</sub>O (95.7% de pureza), cristalina opaca.

Capacidad de solubilidad en forma gradual, no es giroscópico, tiene reacción neutra, la sal comercial es estable.

El producto comercial contiene además del K<sub>2</sub>O, Azufre (22%), Magnesio (11.1% elemental y 18.5 % como oxido), además contiene 2.5 % de Cl. Es fuente de 3 nutrientes K, Mg y S. Es una fuente potásica de bajo índice salino, alta solubilidad, compatible con todos los fertilizantes, no es corrosivo. Una copa Bayer contiene 36.5 gramos de Sulpomag.

**Cuadro 15:** Compatibilidad química de los fertilizantes.

Sulfato de Amonio	Sulfato y Nitrato de Amonio	Nitrato de Amonio + Carbonato de Calcio	Urea	Cianuro de Calcio	Superfosfato simple - Superfosfato triple	Fosfato diamónico	Escorias básicas	Roca fosfórica	Cloruro de Potasio	Sulfato de Potasio - Sulfato de Postasio y Magnesio	Carbonato de Calcio	
L	L	L	X	L	X	L	L	L	L	L	L	Nitrato de Calcio
	C	X	L	X	C	C	X	C	C	C	X	Sulfato de Amonio
			X	X	C	C	X	L	L	C	X	Sulfato y Nitrato de Amonio
			X	X	L	C	X	C	L	L	X	Nitrato de Amonio + Carbonato de Calcio
				X	X	C	C	C	L	C	L	Urea
					X	X	C	C	L	C	L	Cianuro de Calcio
						L	X	C	C	C	X	Superfosfato simple - Superfosfato triple
							X	C	C	C	X	Fosfato diamónico
								X	C	C	C	Escorias básicas
									X	C	C	Roca fosfórica
										X	C	Cloruro de Potasio
											C	Sulfato de Potasio - Sulfato de Postasio y Magnesio
												Carbonato de Calcio

**C** Compatible  
**L** Compatibilidad limitada  
**X** No debe mezclarse

## 7. TÉCNICAS EN LA APLICACIÓN DE NUTRIENTES AL SUELO Y FOLLAJE

### 7.1 TÉCNICAS DE APLICACIÓN DE NUTRIENTES AL SUELO

Para determinar la mejor manera de aplicar los fertilizantes a un cultivo, con el fin de obtener un mejor aprovechamiento de éstos y que el resultado sea la obtención mejores rendimientos y calidad del producto a más bajos costos, se deben de tomar en cuenta algunos aspectos esenciales:

#### a. Ciclo de vida y etapas de desarrollo del cultivo.

La absorción de nutrientes es un fenómeno que ocurre día a día en la planta, por lo tanto es necesario saber cuantos días durará el proceso de absorción para completar los requisitos, con los cuales la planta producirá la óptima cosecha.

Los nutrimentos para producir follaje son diferentes de los que se necesitan para producir frutos, de ahí que sea necesario conocer las etapas que van a ocurrir durante el ciclo, el tiempo en que suceden y la distribución de los foto asimilados en los diferentes tejidos; todo esto permitirá familiarizarse con los requisitos nutricionales del cultivo y sus momentos de máxima absorción.

La etapa vegetativa o de formación de follaje, requiere principalmente N. Los periodos de germinación, enraizamiento, floración y formación de semilla son los que consumen más Fósforo.

El Potasio juega papel importante en la calidad, porque participa en el desplazamiento de los azúcares y en el equilibrio hídrico, así como en el llenado de frutos y apertura de flores.

#### b. Distribución del sistema radicular.

La morfología y fisiología del sistema radicular de las plantas son aspectos que determinan la forma de colocar el fertilizante para una buena utilización de éstos.

El conocimiento de cómo se desarrollan las raíces que ejercen la mayor actividad de absorción de los elementos nutritivos junto con las características del suelo y el comportamiento de los elementos en éste, permitan determinar el lugar más adecuado de colocación de los elementos para su mayor efectividad.

Existen cultivos de raíces profundas y pivotantes y cultivos con raíces de crecimiento horizontal.

Las condiciones del suelo (humedad, estructura, densidad, textura y CO<sub>2</sub>, entre otros), pueden modificar la forma de las raíces. La mayor concentración de raíces (80 %) en la mayoría de las especies cultivadas se encuentran en los primeros 20 cm. de profundidad.

Además, es importante conocer la distribución de las raíces activas o sea determinar las áreas efectivas de mayor actividad alimenticia en las diversas etapas de desarrollo. La identificación de estas zonas sería lo más indicada para definir el método de aplicación.

#### c. Movimiento de los fertilizantes en el suelo.

El contacto de las raíces con el suelo es escaso; aún así, las plantas pueden satisfacer sus exigencias nutritivas, gracias a los mecanismos por los cuales los elementos

nutritivos se acercan a las raíces (flujo de masas, difusión e intercepción radical).

Por cualquier forma el movimiento de los elementos en el suelo es lento, siendo los nitratos que se mueven principalmente por flujo de masas, los que logran distancias de 5 cm./día, mientras que el Fósforo cuyo mecanismo es por difusión, puede llegar hasta 1 cm. por día.

Los movimientos del agua por efecto de la gravedad o capilaridad pueden ocasionar alejamiento de los elementos de las raíces, un ejemplo sería cuando se eliminan los excesos de agua por drenaje.

#### d. Relieve.

La pendiente define posiciones específicas en la colocación del fertilizante para evitar pérdidas de éste. Cuando el terreno es inclinado, el abono se aplica en la parte alta de la pendiente para que sea adecuada la distribuida con el agua lluvia.

#### e. Características de las fuentes.

El movimiento de los elementos en el suelo, también está sujeto a la solubilidad en el

agua del producto, así como la susceptibilidad a fijarse o volatilizarse son factores que determinan la posición en que se deben colocar los fertilizantes.

El N es muy soluble en sus tres formas principales en que se encuentra en los abonos (nitríca, amoniacal y ureica o amídica), siendo retenido únicamente en su forma amoniacal por el complejo arcilloso hasta su transformación en nitratos, tiene por lo tanto una gran movilidad, siendo transportado por el agua en sus movimientos de gravedad y capilaridad.

Otro elemento como el P, cuya movilidad es casi nula debido a la pequeña solubilidad de los compuestos más frecuentes en el suelo, por la misma razón gran parte del P soluble aplicado en los abonos se insolubiliza con rapidez al reaccionar en el suelo y llegar a un equilibrio con las diferentes formas de Fósforo que existen en el medio.

Por lo tanto, es esencial que este elemento se coloque cerca de las raíces y que se procure especialmente en suelos pobres reducir su contacto con el suelo (bandas, hoyo de plantación, etc.).

**Cuadro 16:** Métodos de aplicación de abonos al suelo

Superficiales	Enterrados
No localizado: Voleo (pastos-arroz).	No localizado: Incorporado como las enmiendas.
Localizados: Banda lateral (1 o 2) poca distancia entre plantas.	Localizado: fondo del surco o lado del surco. Ej.: a la siembra con poca distancia o con maquinaria.
Circulo: En plano para árboles y arbustos.	Fondo del hoyo: a la siembra con mucha distancia entre plantas.
Media luna: En pendiente para árboles-arbusto.	Espeque: Aplicaciones tardías de P.

**f. Otras prácticas agronómicas que se realicen al cultivo.**

La manera de aplicar el fertilizante debe ser compatible con el resto de labores (aporcado, poda, deshierbas por calles, etc.) y puede combinarse con ellas.

**g. Dificultad o factibilidad.**

El método de aplicación debe ser un procedimiento sencillo, que garantice su ejecución correcta. Si se define un método sofisticado, probablemente no se efectuó correctamente.

### 7.1.1 FERTILIZACIÓN DISUELTA E INYECTADA

Es una técnica que se usa para fertilizar viveros de frutales, ornamentales y plantaciones establecidas de cultivos; consiste básicamente en aplicar fertilizantes sólidos de uso común, disueltos en agua e inyectándolos en la zona de raíces absorbentes bajo la superficie del suelo con un inyector.

A continuación se mencionan fertilizantes de uso común y de solubilidad aceptable en agua:

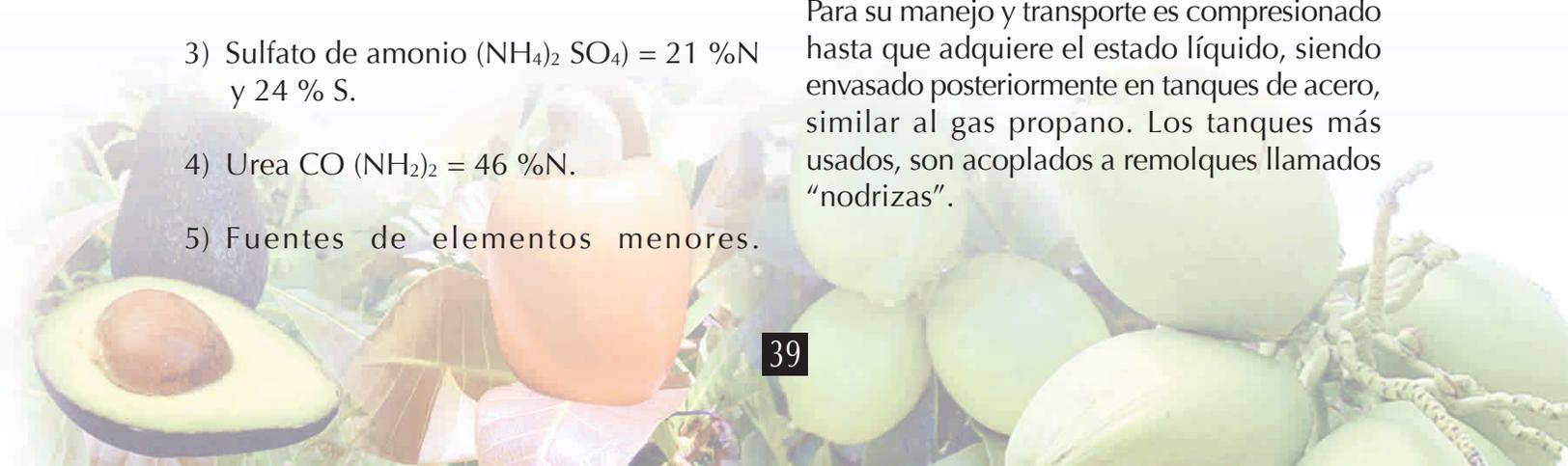
- 1) Fosfato diamónico (DAP) = 18-46-0.
- 2) Muriato de potasio ( KCl = MOP) = 0-0-60.
- 3) Sulfato de amonio ( $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ ) = 21 %N y 24 % S.
- 4) Urea  $\text{CO} (\text{NH}_2)_2$  = 46 %N.
- 5) Fuentes de elementos menores.

Sus ventajas son:

- 1) Aumenta la eficiencia de los abonos.
- 2) Existe un alto % de ahorro en comparación con los costos de la fertilización tradicional.
- 3) El desarrollo de los cultivos, follaje, color de hojas, crecimiento y producción de la plantación son iguales o superiores a la fertilización tradicional.
- 4) Aumento en la rapidez de aplicación, con lo que se obtiene ahorro de mano de obra.
- 5) Se usan fertilizantes comunes de buena solubilidad, de fácil obtención y costos más bajos.
- 6) La inyección del fertilizante en la zona de raíces absorbentes sanas, aumenta notablemente la asimilación de los mismos, pues reduce su arrastre y volatilización.
- 7) La fertilización diluida se puede combinar con otras labores como las aplicaciones de insecticidas y fungicidas sistémicos.

Una nueva forma de fertilización es la utilizada con el Amoníaco anhidro. El Amoníaco es un compuesto químico que a temperatura ambiente y presión atmosférica normal es un gas, contiene 82% de N.

Para su manejo y transporte es comprimido hasta que adquiere el estado líquido, siendo envasado posteriormente en tanques de acero, similar al gas propano. Los tanques más usados, son acoplados a remolques llamados "nodrizas".



Para utilizarlo como fertilizante en aplicación directa se requiere de equipos especiales como los aplicadores que son implementos que se acoplan al tractor y permiten inyectar el producto al subsuelo. Otra forma de aplicación es la “Nitrogación”, que se realiza a través del agua de riego.

### 7.1.2 APLICACIÓN DE AMONÍACO EN CAMPO.

#### 1. Inyección

Consiste en aplicar el amoníaco a la profundidad de 15 a 30 cms en el subsuelo de tal forma que quede depositado al alcance inmediato de las raíces.

#### 2. Nitrogación

Consiste en diluir el amoníaco en el agua de riego, para lo cual se utiliza un dosificador especial llamado Nitrogador, el cual dosifica la cantidad de amoníaco a suministrar.

### 7.1.3 FERTIRRIEGO

La planta consume diariamente agua y nutrientes en sus procesos de crecimiento y desarrollo. Las diferentes etapas de crecimiento y desarrollo del vegetal presentan necesidades hídricas y nutrimentales diferenciadas.

El fertirriego permite el aporte de agua y nutrientes al cultivo de una forma gradual, de acuerdo a sus necesidades biológicas, sin crear excesos o deficiencias temporales, permitiendo alcanzar elevados rendimientos y una alta calidad, al tiempo que incrementa la eficiencia de los fertilizantes.

#### Ventajas:

- Permite aplicar los nutrientes exacta y uniformemente en el volumen de suelo explorado por las raíces activas.
- El aumento de la eficiencia del fertilizante permite disminuir las dosis, lo cual se traduce en ahorros en los costos de producción y hace la tecnología más amigable con el ambiente.
- Ahorros de energía y fuerza de trabajo en el manejo de los abonos.
- Flexibiliza el momento de la aplicación y la cantidad de fertilizantes que pueden ser aplicados.
- Los fertilizantes complejos permiten la aplicación de micro nutrientes que de otra forma son difíciles de aplicar al suelo.
- El aporte de nutrientes puede ser cuidadosamente regulada y monitoreada.
- La fertirrigación exige adaptar la cantidad y proporción de los fertilizantes a los requerimientos reales del cultivo durante cada etapa de su crecimiento y desarrollo.

#### Desventajas:

- Los productos existentes en el mercado son caros en comparación con los tradicionales.
- Es necesario contar con equipos de riego localizados, con sus respectivos accesorios para hacer aplicaciones idóneas.
- Al no realizar mantenimiento adecuado del sistema de riego, existe probabilidades de taponamiento.



Un fertirriego efectivo requiere una comprensión de los procesos biológicos del cultivo:

- Requerimientos nutricionales.
- Patrón de crecimiento radical.
- Química de suelos.
- Química de los fertilizantes.
- Calidad del agua.

Los fertilizantes adecuados para fertirriego deben ser solubles. En cuanto se refiere al uso con el riego se clasifican en dos clases:

1. **Fertilizantes líquidos**, abastecidos en forma de soluciones saturadas listas para usar sin necesidad de tratamientos previos. Éstos en general contienen menor concentración de nutrientes, el manejo en fertirriego es más cómodo que con los fertilizantes sólidos.
2. **Fertilizantes sólidos**, fácilmente solubles, con o sin elementos menores que deben disolverse antes de comenzar la fertilización. La solubilidad es un factor que es distinta para cada tipo de abono y composición, generalmente aumenta con la temperatura.

De un fertilizante sólido interesa conocer:

- Su **solubilidad**, no solo en su porcentaje máximo, sino qué temperatura genera a una determinada concentración. Muchos fertilizantes al disolverse aumentan la temperatura de la solución (reacción exotérmica) y otros la disminuyen (reacción endotérmica); con esta información al preparar una solución de multinutrientes deben disolverse los de reacción exotérmica para facilitar la disolución de los segundos.
- Se debe conocer también, como afecta el **pH** del agua de riego, y la conductividad eléctrica al final de la solución.
- Se debe contar con productos de **bajo índice o equivalente salino**; esto es debido a que los iones acompañantes de algunos productos no son absorbidos en altas cantidades, dejando residuos que elevan la salinidad del suelo.

Es común atribuir a los fertilizantes solubles la característica de hidrosolubles, los cuales son más idóneos para la inyección en todo tipo de sistema de riego; estos fertilizantes se disuelven totalmente sin precipitados y forman una solución cristalina sin turbiedad.

**Cuadro 17:** Variación de la solubilidad de algunos fertilizantes con respecto a la temperatura.

Fertilizante	Temperatura (°C)					
	0	5	10	20	25	30
	gramos/litro de agua					
Urea	680	780	850	1,060	1,200	1,330
Sulfato de Amonio	700	715	730	750	770	780
Sulfato de Potasio	70	80	90	110	120	130
Cloruro de Potasio	280	290	310	340	350	370
Nitrato de Potasio	130	180	210	320	370	460

### 7.1.4 MÉTODOS DE APLICACIÓN DE MICRONUTRIENTES

Existen diferentes formas de aplicación de micronutrientes, entre las cuales están:

1. Aplicaciones directas al suelo, de los materiales que contengan el elemento, distribuidas al voleo o surcos antes de siembra.
2. Asperjados al follaje, en las hojas la absorción es más rápida; normalmente se aplican de 200 a 400 litros de solución por hectárea.

### 7.2 ABONADO FOLIAR

Las plantas absorben las sustancias nutritivas minerales por las raíces, pero también las hojas pueden absorber agua y las sustancias disueltas en ella, por medio de unos diminutos microporos (poros hidrofílicos).

A través de la hoja, teóricamente, se puede alimentar a las plantas de un modo completo, pero en la práctica, el foliar solamente se utiliza como una forma complementaria de suministro de N, Mg y oligoelementos y no como un reemplazo total a la fertilización realizada al suelo. Las razones son las siguientes: la planta debe alimentarse bien desde que nace y llenar los requisitos de los elementos mayores por esta vía implicaría un número elevado de aplicaciones, debido a que no se pueden usar concentraciones altas.

El objetivo del abonado foliar es distribuir uniformemente sobre las hojas una delgada capa de sustancias nutritivas. El Abonado foliar se define como la pulverización de las hojas, con soluciones poco concentradas o suspensiones de sustancias nutritivas.

#### Ventajas:

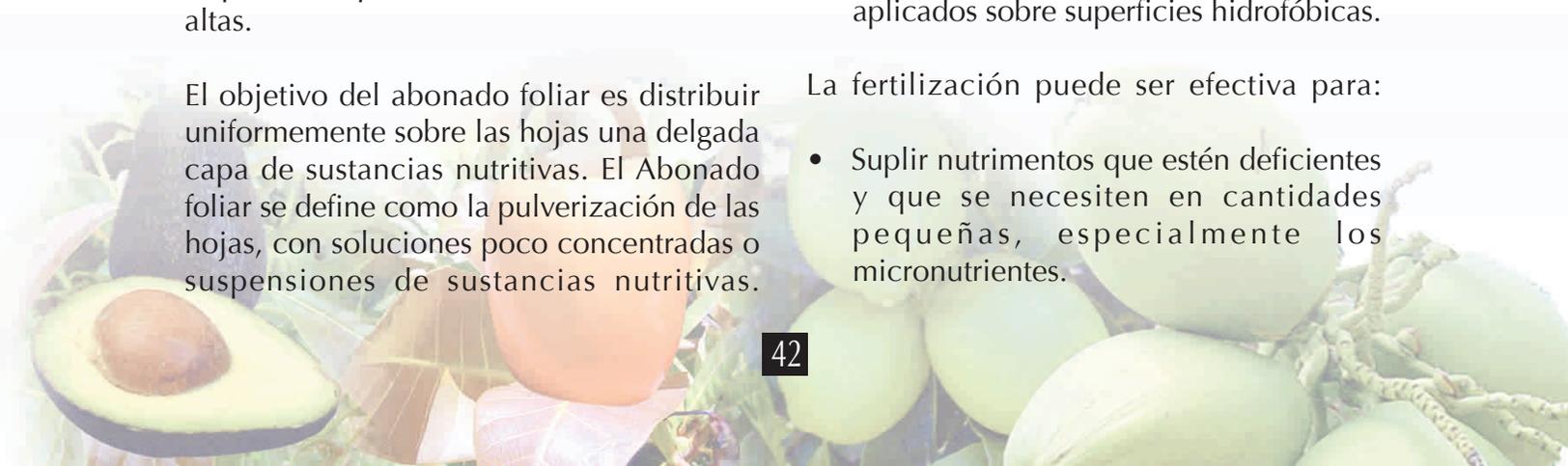
- Su alto grado de aprovechamiento.
- Es un recurso para superar emergencias.
- Se logran los efectos a plazos muy cortos.
- Efectos tóxicos producidos por otros productos son superados.
- Se requieren dosis menores, incluso hasta de 10 veces menores para lograr efectos semejantes.

#### Desventajas:

- Es apto para aportar determinados materiales fertilizantes.
- Los abonos minerales y los orgánicos pueden quemar las hojas si están muy concentrados, aunque a este respecto las plantas presentan diferente grado de sensibilidad.
- Se pueden lavar fácilmente por la lluvia.
- Pueden provocar daños en las hojas, quema o necrosis, al secarse rápidamente o al usar soluciones concentradas.
- Pueden presentar problemas de penetración, particularmente en cultivos con hojas de cutícula gruesa.
- Pueden ocurrir muchas pérdidas al ser aplicados sobre superficies hidrofóbicas.

La fertilización puede ser efectiva para:

- Suplir nutrimentos que estén deficientes y que se necesiten en cantidades pequeñas, especialmente los micronutrientes.



- Superar síntomas de deficiencias de nutrientes.
- Superar la falta de habilidad de las plantas para absorber nutrimentos, debido a condiciones adversas (sequía, nematodos, insectos, daños causados por implementos agrícolas, etc.).

Los métodos que se usan son:

1. La pulverización que se realiza a razón de 400 litros de solución por hectárea en gotitas de 0.1 a 0.2 mm de diámetro.
2. La nebulización que se realiza con cantidades más reducidas de solución (100-200 litros/ ha), las gotitas son más finas.

La aplicación puede realizarse de modo que las soluciones pulverizadas o nebulizadas queden pegadas a las hojas o de forma que se produzca una decantación de la solución. La nebulización es el método más indicado para abonar las plantaciones frutales, donde la concentración puede ser relativamente baja y las cantidades que se han de distribuir elevadas.

El mayor problema de las pulverizaciones foliares, es la sensibilidad de las hojas a una alta concentración de la solución. El abono puede actuar sobre las hojas de un modo corrosivo, debido a la acción osmótica (extracción de agua), y a otros efectos, de forma que el tejido foliar quede afectado y se produzca necrosis en algunos puntos.

La urea no salina tiene una acción osmótica reducida y es por consiguiente asimilable, pudiendo emplearse en concentraciones de hasta el 15%. La solución N (25% amoníaco, 25% de nitrato y 50% urea) presenta menos problemas, debido a la baja concentración de amoníaco.

Cuanto más rápido sea el crecimiento y mayor sean las necesidades de nutrimentos, menor es el peligro de corrosión. Cuando el tiempo es seco y la solución aplicada sobre las hojas se seca, disminuye rápidamente el peligro de corrosión, pero también la eficacia del fertilizante.

Cuando se va a efectuar un abonado foliar hay que tomar en cuenta lo siguiente:

- La concentración de la solución.
- Los periodos críticos de crecimiento, durante los cuales no se deben realizar aplicaciones foliares.

Las pulverizaciones con oligoelementos pueden efectuarse a todo tipo de plantas. El abono foliar puede combinarse con pulverizaciones fitosanitarias. Para que exista absorción foliar es necesario que: haya cierto grado de humedad que permita la expansión de la cutícula, para que haya apertura de las capas cerosas y entrada a los elementos; la edad del tejido, los tejidos jóvenes tienen mayor capacidad de absorción; las características propias de movilidad del elemento.



**Cuadro 18:** Guía del abonado foliar (400 lt de agua/ha de solución para abonos sólidos)

Abono	Concentración de la solución en porcentaje	Cantidad en Kg./Ha		
		Abono	Elementos nutritivos	Aplicación
Urea	8 a 16	32 a 65	15 a 30 N	Frutales
Urea	0.5 a 1	2 a 4	1 a 1.8 N	
Solución N		25 a 35	7 a 10 N	
Nitrato de Calcio	0.5 a 1	2 a 4	1.7 K	
Sulfato de Magnesio	2	8	0.8 Mg	
Sulfato de Potasio	2	4	1.7 K	
Quelato de Hierro	0.1 a 0.2	0.4 a 0.8	0.03 Fe	Frutales
Borax	0.5	2	0.2 B	
Sulfato de Zinc	0.5	2	0.5 Zn	
Sulfato de Manganeso	0.5	2	0.5 Mn	
Sulfato de Cobre	0.2	0.7	0.2 Cu	

### 7.2.1 MICRONUTRIENTES MEZCLADOS A LOS FERTILIZANTES

Los micronutrientes requeridos, se aplican generalmente mezclados con los fertilizantes; al agregar los micronutrientes con las mezclas

de abonos se debe considerar la composición y pH, porque se pueden formar compuestos insolubles. Ej.: Fe y Mn se precipitan con el amonio. El Fe, Mn, Zn se insolubilizan con los fosfatos.

**Cuadro 19:** Límites seguros de aplicación de materiales que contienen micronutrientes.

Micronutrientes	Materiales	Aplicación al suelo	Aspersión foliar
Hierro	Sulfato Ferroso	15 a 50 Kg./Ha	1.25 Kg./100 l H <sub>2</sub> O
Manganeso	Sulfato de Manganeso	15 a 35 Kg./Ha	1.0 Kg./100 l H <sub>2</sub> O
Zinc	Sulfato de Zinc	5 a 50 Kg./Ha	1.25 Kg./100 l H <sub>2</sub> O
Cobre	Sulfato de Cobre	3 a 55 Kg./Ha	1.25 Kg./100 l H <sub>2</sub> O
Boro	Borax	5.5 a 22 Kg./Ha	250 - 625 g/100 l H <sub>2</sub> O
Molibdeno	Molibdato de Sodio	0.70 a 2.5 Kg./Ha	5 a 8 g/100L H <sub>2</sub> O
Cloro	-	-	Algunos 2.2 Kg./Ha



## 8. PRESENTACIÓN DE PRODUCTOS FERTILIZANTES GRANULADOS Y FOLIARES

En el cuadro 20 se detalla la presentación de los productos fertilizantes granulados.

**Cuadro 20:** Tipos de fertilizantes granulados que se encuentran en el mercado.

Nombre Comercial	Contenido de nutrientes en porcentaje						
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca O	Mg O	B	S
Sulfato de Amonio	21	0	0	0	0	0	24
Urea	46	0	0	0	0	0	0
Sulfurea	40	0	0	0	0	0	6
Nitrocal	27	0	0	12	0	0	0
Nitrato de Amonio	33	0	0	0	0	0	0
Nitrato de Calcio	15	0	0	27	0	0	0
Sulpomag	0	0	22	0	11	0	22
SPS 0-20-0	0	20	0	30	1	0	13
KCL 0-0-60 MOP	0	0	60	0	0	0	0
Nitrato de Potasio	13.5	0	44	0	0	0	0
Sulfato de Potasio	0	0	50	0	0	0	18
18-46-0 DAP	18	46	0	0	0	0	0
14-40-0	14	40	0	7	0	0	3
16-20-0	16	20	0	8-11	0.3	0	11-13
16-16-0	16	16	0	3	0.1	0	8
10-30-10	10	30	10	5	1	0	4
12-24-12	12	24	12	4	0.7	0	5
12-10-25	12	10	25	3	0	0	6
10-10-30	10	10	30	3	0	0	6
17-6-18	17	6	18	0-2	0-2	0	9
15-15-15	15	15	15	6	0.2	0	6-9
15-5-15	15	5	15	3	0.1	0	12
18-6-12	18	6	12	13	0.3	0	10
11-52-0	11	52	0	0	0	0	0
12-12-17	12	12	17	0	2	0	11
15-25-10	15	25	10	0	2	0	6
18-9-21	18	9	21	0	3	0	4
16-4-24	16	4	24	0	3	0	6
20-8-10	20	8	10	0	0	0	12
20-5-5	20	5	5	0	3	0	12
15-15-6-4	15	15	6	0	4	0	0
29-0-17-4	29	0	17	0	0	0	4
33-0-17	33	0	17	0	0	0	0
17-10-10-10	17	10	10	0	0	0	10
31-0-19	31	0	19	0	0	0	0
27-5-13-5	27	5	13	0	0	0	5
15-10-30-2	15	10	30	0	0	0	2
31-0-13-5	31	0	13	0	0	0	5
20-10-15-8	20	10	15	0	0	0	8
15-10-25-6	15	10	25	0	0	0	6
39-0-0-6	39	0	0	0	0	0	6
24-0-29	24	0	29	0	0	0	0
20-0-20	20	0	20	0	0	0	0
10-5-20	10	5	20	0	0	0	0

(Continuación de **Cuadro 20**)

Nombre Comercial	Contenido de nutrientes en porcentaje						
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca O	Mg O	B	S
23-0-30	23	0	30	0	0	0	0
20-0-30	20	0	30	0	0	0	0
30-0-20	30	0	20	0	0	0	0
18-6-12	18	6	12	0	0	0	0
20-3-20	20	3	20	0-2	0-1	0	0-10
18-6-12-4-2	18	6	12	0	4	2 (B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0
15-15-15-2-1	15	15	15	0-5	2	1 (B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0-8
20-5-15	20	5	15	0	0	0	0
22-22-0-10	22	22	0	0	0	0	10
24-36-0	24	36	0	0	0	0	0
29-29-0	29	29	0	0	0	0	0
10-28-0	10	28	0	0	0	0	0
10-40-0	10	40	0	0	0	0	0
30-0-0-12	30	0	0	0	0	0	12

En el Cuadro 21a y 21b se detalla la presentación de algunos de los fertilizantes foliares disponibles en el mercado.

**Cuadro 21a:** Presentación de fertilizantes foliares.

Nombre Comercial	Contenido de elementos en porcentaje												
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B	Mo	Co
Bayfolan Forte	11	8	6	0.025	0.025	0	0.04	0.05	0.04	0.08	0.04	0.005	0.002
Bayfolan	11	8	6	0	0	0	0.0081	0.019	0.0162	0.0061	0.01	0.0009	0.00035
Nitrofoska foliar	10	4	7	0	0.125	0.8	0.0025	0.014	0.0017	0.0005	0.0022	0.0003	0
FetrimonCombi1	0	0	0	0	9	3	1.5	4	4	1.5	0.5	0.1	0
FetrimonCombi2	0	0	0	0	2	2.8	0.5	4	3	4	1.5	0.05	0
Nitrofoska	6	12	6										
Phosgard	4	25	15										
Synergizer	5	20	20										
Big-K	0	0	32										
Biomín Calcio				7									
Biomín Zinc										7			
Biomín Boro											5		
Biomín Cobre							4						
Biomín Booster				1	1		0.5	0.5	0.1	1.5	0.5	0.01	
Bufermin Multi K				4	4		2				2		
Solubor											20.5		
Newfol-Boro											6		
New-plus					4.6	2.6	0.10	1	0.015	1	2.6	0.03	0.03
Newfol-K			16										
Newfol-Ca				8									
Newfol-Mg					10								
Newfol-Zn										14			
Newfol-F				0.3				0.2					
K-Fol	0	20	55		0.06	0.08					0.01		
Poliquel Multi					1	4	0.04	3	0.25	4	0.04	0.005	
Poliquel Hierro								8					
Poliquel Zinc										8			
Poliquel Calcio				10	1						0.5	0.001	

**Cuadro 21b:** Continuación de presentación de fertilizantes foliares.

Nombre Comercial	Contenido de elementos en porcentaje												
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B	Mo	Co
Brazotex 70	12	28	10										
Brazotex 60	20	20	20										
Maxi-Grow	8.8	5.5	7.75	0.4	0.2		0.04	0.09	0.04	0.08	0.04	0.005	
Megafol									10	4.2	1.6		
Sweet				10	1					0.01	0.1		0.12
Kendal	3.5		15.5										
Radifarm	2		4					0.3		0.3			
Calbit-C				15									
Boroplus											11		
Mangafol									10	4.2	1.6		
Micro Nutrient Mix					3								

**Fertilizantes Hidrosolubles**

Mágnium-P44	18	44	0										
Ferticare Ace +EM	18	18	18		2.3			+		+	+		
Kemistar azul	12	12	17	4.5	2								
Solufert + EM	25	10	10		1								
Solufert	13	6	4										
Nitrato de Potasio	13.5	0	45										
Polyfeed	20	20	20				0.011	0.1	0.05	0.015	0.02	0.007	
Polyfeed	19	19	19				0.011	0.1	0.05	0.015	0.02	0.007	
Polyfeed	15	30	15				0.011	0.1	0.05	0.015	0.02	0.007	
Polyfeed	16	8	32		2		0.005	0.05	0.025	0.0075	0.01	0.0035	
Multi MAP	12	61	0										
Multi K	13	0	46										
Magnisal	11	0	0		16								

## 9. EJERCICIO: DESARROLLO DE PLAN DE NUTRICIÓN SUELO Y FOLIARES EN FRUTALES

### 9.1 RECOMENDACIÓN DEL PLAN DE NUTRICIÓN EN SUELOS

Para limón pérsico, aguacate, coco y marañón

- Fertilización para establecimiento del cultivo.
- Cálculo de la cantidad de enmienda para el hoyo de siembra.

**Cuadro 22:** Resultados de análisis de suelo.

Al tacto Textura	Ca Cl <sub>2</sub> pH	ppm		meq /100 g de suelo				%
		P	K*	Ca	Mg	Al	Act	M.O.
C. A.	5.1	10.0	448	7.5	1.97	0.00	2.6	1.26

$$*K = \frac{\text{ppm}}{391} = \text{meq /100 g}$$

## Requerimiento

Nitrógeno (N)	= 20 – 30 g de N por hoyo
Fósforo (P)	= 20 ppm
Potasio (K)	= 240.17 ppm = 0.87 meq/100g = 5%
Calcio (Ca)	= 65%
Magnesio (Mg)	= 20%
Acidez total	= 12%
CICT	= 17.40 meq /100g

### Cuadro 23: Requerimiento en porcentaje para cumplir lo óptimo

Requerimiento en porcentaje	Cálculo requerimiento faltante
65% Ca	Ca = (65% - 56.77%) = 8.23% (faltante)
20% Mg	Mg = (20% - 14.91%) = 5.09% (faltante)

### Requerimiento en meq/100g para cumplir lo óptimo

$$\text{Requerimiento en meq /100g} = \frac{\% \text{ faltante} \times \text{CICT}}{100}$$

$$\text{Ca} = \frac{8.23 \% \times 13.21 \text{ meq /10g}}{100 \%} = 1.09 \text{ meq /100 g de Ca}$$

$$\text{Mg} = \frac{5.09 \% \times 13.21 \text{ meq /100g}}{100 \%} = 0.67 \text{ meq /100g de Mg}$$

Conversión de los meq/100g a qq /Mz

ppm x 2 = Kg /ha

Una tonelada = 1000 kg

$$\text{Ca} = 1.09 \text{ meq /100g} \times 200 \text{ ppm} \times 2 = \frac{436 \text{ kg/ha}}{1000 \text{ kg}} = 0.436 \text{ ton/ha}$$

$$\text{Ca} = 0.436 \text{ ton/ha} \times 20 \text{ qq/ton} \times 0.7 \text{ ha/Mz} = 6.10 \text{ qq/Mz de Ca}$$

$$\text{Mg} = 0.67 \text{ meq /100g} \times 122 \text{ ppm} \times 2 = \frac{163.48 \text{ kg /ha}}{1000 \text{ kg}} = 0.163 \text{ ton/ha}$$

$$\text{Mg} = 0.163 \text{ ton/ha} \times 20 \text{ qq/ton} \times 0.7 \text{ ha/Mz} = 2.28 \text{ qq/Mz de Ca}$$

$$\text{Potasio (K)} = \frac{448 \text{ ppm}}{391} = 1.14 \text{ meq/100 g}$$

$$\text{K} = 1.14 \text{ meq/100 g} = 8.63 \% = \frac{\text{K} \times 100}{\text{CICT}} = \frac{1.14 \times 100}{13.21}$$

$$\text{K} = 1.14 \text{ meq/100 g} = 8.63\%$$

$$\text{Ca} = 7.50 \text{ meq /100g} = 56.77\%$$

$$\text{Mg} = 1.97 \text{ meq /100g} = 14.91\%$$

$$\text{Acidez total} = 2.60 \text{ meq/100 g} = 19.68\%$$

$$\text{CICT } \Sigma = 13.21 \text{ meq/100 g} = 99.99\%$$

## Capacidad de intercambio catiónico total (CICT)

CICT = Sumatoria de bases + acidez total

CICT = K + Ca + Mg + acidez total

CICT = 1.14 + 7.50 + 1.97 + 2.60 meq /100g = 13.21 meq /100g

## Porcentaje de saturación de Calcio

$$\% \text{ Ca} = \frac{\text{Ca intercambiable} \times 100\text{g}}{\text{CICT}}$$

$$\% \text{ Ca} = \frac{7.5 \times 100}{13.21} = 56.77 \%$$

## Porcentaje de saturación de Magnesio.

$$\% \text{ Mg} = \frac{\text{Mg intercambiable} \times 100\text{g}}{\text{CICT}}$$

$$\% \text{ Mg} = \frac{1.97 \times 100\text{g}}{13.21} = 14.91 \%$$

**Cuadro 24:** Cálculo del área efectiva

Cultivo	Población /Mz	Área efectiva/pl.
Limón	109	14.65 V <sup>2</sup>
Aguacate	109	12.88 V <sup>2</sup>
Marañón	143	17.53 V <sup>2</sup>
Coco	109	17.53 V <sup>2</sup>

$$109 \text{ pl} \times 14.65 \text{ V}^2 = 1596.85 \text{ V}^2$$

## Ajuste del área efectiva

$$\frac{\text{Área total qq /Mz} \times \text{área efectiva en V}^2}{10,000 \text{ V}^2}$$

$$\text{Ca} = \frac{6.10 \text{ qq /Mz} \times 1596.85 \text{ V}^2}{10,000 \text{ V}^2} = 0.97 \text{ qq /Mz de Ca}$$

$$\text{Mg} = \frac{2.28 \text{ qq /Mz} \times 1596.85 \text{ V}^2}{10,000 \text{ V}^2} = 0.36 \text{ qq /Mz de Mg}$$

## Necesidad de enmiendas

a) Análisis químico de la fuente de cal dolomítica: 28% Ca; 8% Mg y 95% de PN

Necesidad de Mg = 0.36 qq/Mz

$$100 \text{ qq de cal dolomítica} = 8 \text{ qq de Mg}$$
$$X = 0.36 \text{ qq de Mg.}$$

$$X = \frac{100 \text{ qq} \times 0.36 \text{ qq}}{8 \text{ qq}} = 4.5 \text{ qq/Mz de cal dolomítica pura}$$

$$\frac{4.5}{0.95} = 4.74 \text{ qq de cal dolomítica comercial}$$

### Dosis de cal dolomítica por hoyo de siembra.

$$\frac{4.74 \text{ qq} \times 100 \text{ lb}}{109 \text{ plantas}} = 4.35 \text{ lb de cal dolomítica por hoyo}$$

### Necesidad de fertilizantes (NF)

#### Para Fósforo

NF = Nivel adecuado – nivel disponible en el suelo

NF = 20 ppm – 160 ppm = 4 ppm de P

ppm x 2 = kg/ha

4 ppm x 2 = 8 kg/ha de P

Kg /ha x 2.2 lb/kg x 0.7 ha /Mz = lb/Mz

8 Kg /ha x 2.2 lb /Kg x 0.7 ha /Mz = 12.32 lb/Mz de P.

P x 2.29 = P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

12.32 lb /Mz x 2.29 = 28.21 lb /Mz de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

$$\frac{\text{lb/Mz} \times 160 \text{ mg /lb}}{\text{Pl / Mz}} = \text{Onz/hoyo}$$

$$\frac{28.21 \text{ lb /Mz} \times 16 \text{ Onz}}{109} = 4.14 \text{ Onz de P}_2\text{O}_5$$

100 Onz 18-46-0 = 46 Onz de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

X = 4.14 onz

$$X = \frac{100 \times 4.14}{46} = 9 \text{ onz/ hoyo de 18 - 46 - 0}$$

**Cuadro 25:** Resumen de cálculo de fertilizantes y enmienda

Cultivos	Pl /Mz	Fertilizante 18-46-0 Onz/hoyo	Enmienda cal dolomítica Onz/hoyo
Limón	109	9	4.35
Aguacate	109	9	4.21
Marañón	143	7	84
Coco	109	9	84

**Cuadro 26:** Resultados de análisis de suelo

FINCA: San José Buena Vista

UBICACIÓN: Dpto. La Libertad

PROFUNDIDAD DEL MUESTREO: (0-20 cm.) en la banda de abonamiento

Tablón	pH Ca Cl <sub>2</sub>	Cationes intercambiables (meq/100g)				Acidez total Meq/100g	P ppm	Población pl/mz
		Ca	Mg	K <sup>2</sup>	Al <sup>3</sup>			
1	4.1	6.00	1.40	0.34	2.50	9.71	12	143
2	3.7	3.80	0.71	0.51	4.75	13.59	16	109
3	3.9	5.11	0.46	0.45	3.59	12.13	37	218
4	3.7	2.93	0.45	0.36	4.56	14.08	23	250
5	4.4	8.68	1.33	0.51	0.97	8.25	10	200
6	3.9	4.96	0.41	0.40	3.78	14.08	24	166

1. Acidez total en pH SMP = Acidez de reserva + Acidez cambiante

$$2. * K = \frac{\text{ppm}}{391} = \text{meq} / 100 \text{ g}$$

3. Acidez intercambiante en KCl 1N

## RECOMENDACIONES

### a) Criterio nivel crítico

#### Encalado

$$NC \text{ (Ton/ha)} = \frac{F(\% \text{ Al actual} - \% \text{ Al deseado}) \times \text{CICE}}{100}$$

NC = Necesidad de Cal

F = Factor = 1.5

CICE = Capacidad de intercambio catiónico efectivo

CICE = Ca + Mg + K + Al intercambiante (meq/ 100 g)

$$\% \text{ Al actual} = \frac{\text{Al intercambiante} \times 100}{\text{CICE}}$$

Para % Al deseado = 0.00%

NC (Ton/ha) = F x Al intercambiante



### Ejemplo: Tablón 1

$$NC \text{ (Ton/ha)} = \frac{1.5(\% 24.41 - \% 0.00) \times 10.24}{100} = 3.75 \text{ Ton/ha}$$

$$NC = F \times AI \text{ intercambiable}$$

$$NC = 1.5 \times 2.5 = 3.75 \text{ ton/ha}$$

Transformaciones a qq/mz

$$\text{Ton/ha} \times 20 \text{ qq/ton} \times 0.70 \text{ ha/mz} = \text{qq./mz}$$

$$3.75 \times 20 \times 0.70 = 52.5 \text{ qq./mz}$$

Transformaciones de qq/mz a onz/pl

Tablón 1 = 143 pl/mz

$$\text{Área efectiva} = 143 \text{ pl/mz} \times 14.65 \text{ V}^2 = 2095 \text{ V}^2$$

$$\frac{52.5 \text{ qq/mz} \times 2,095 \text{ V}^2}{10,000 \text{ V}^2} = 10.998 \text{ qq/Mz}$$

$$\frac{10.99 \text{ qq/mz} \times 100 \text{ lb}}{143 \text{ pl/Mz}} = 7.68 \text{ lb/pl}$$

**Cuadro 27:** Resumen de cálculo de encalado con base en el nivel crítico

TABLÓN	CAL PURA (100% PN) (Lb./pl)	CAL COMERCIAL* (lb./pl)
1	7.70	9.62
2		
3		
4		
5		

\*Poder de Neutralización = 80% PN

### FERTILIZANTES

**Cuadro 28:** Rendimiento en qq/mz

Tablón	Rendimiento qq/mz	Requerimiento nutricional*		
		ppm		lb puras/mz
		K	P	N
1	265	217	25	351
2	202			
3	404			
4	4			
5	371			

\*Necesidad de fertilizantes (NF)  
NF = Nivel adecuado - nivel disponible en el suelo

## Ejemplo: tablón No. 1

### Potasio

NF = nivel adecuado - nivel disponible en el suelo

NF = 217 ppm - 133 ppm = 84 ppm de K

Requerimiento para cumplir el nivel adecuado = 84 ppm de K

### Transformaciones

ppm x 2 = Kg. /ha

84 ppm de K x 2 = 168 Kg/Ha de K

Kg/ha x 2.2 lb /Kg x 0.7 ha/mz = lb /mz

168 x 2.2 x 0.7 = 258.72 lb /mz de K

K x 1.2 = K<sub>2</sub>O

258.72 x 1.2 = 310.46 lb /mz de K<sub>2</sub>O

$$\frac{\text{lb /mz}}{\text{pl/mz}} = \text{lb /pl de K}_2\text{O}$$

$$\frac{310.46 \text{ lb/mz de K}_2\text{O}}{143 \text{ pl/mz}} = 2.17 \text{ lb. /pl de K}_2\text{O}$$

Fuente de potasio = Muriato de Potasio: 0 - 0 - 60

100 lb de 0 - 0 - 60 = 60 lb de K<sub>2</sub>O

$$X = 2.17 \text{ lb de K}_2\text{O}$$

$$X = \frac{100 \times 2.17}{60} = 3.62 \text{ lb de 0 - 0 - 60/pl}$$

**Cuadro 29:** Resumen del cálculo de Potasio

TABLÓN	Elemento: K <sub>2</sub> O lb./pl	Fertilizante 0-0-60 lb./pl
1	2.17	3.62
2		
3		
4		
5		

### Nutrimiento Fósforo

NF = nivel adecuado - nivel disponible en el suelo

Ejemplo: Tablón 1

NF = 25 ppm - 12 ppm = 13 ppm

Requerimiento para cumplir el nivel adecuado = 13 ppm de P

### Transformaciones:

$$\text{ppm} \times 2 = \text{Kg/ha}$$

$$13\text{ppm} \times 2 = 26 \text{ Kg/ha de P}$$

$$\text{Kg/ha} \times 2.2 \text{ lb./Kg} \times 0.7 \text{ ha/mz} = \text{lb/mz}$$

$$26 \times 2.2 \times 0.7 = 40.04 \text{ lb/mz de P}$$

$$\text{P} \times 2.29 =$$

$$40.04 \times 2.29 = 91.69 \text{ lb./mz de P}_2\text{O}_5$$

$$\frac{\text{lb /mz}}{\text{pl/mz}} = \text{lb /pl de P}_2\text{O}_5$$

$$\frac{91.69 \text{ lb/mz de P}_2\text{O}_5}{143 \text{ pl/mz}} = 0.64 \text{ lb. /pl de P}_2\text{O}_5$$

Fuente de fósforo: 0 – 20 – 0

$$100 \text{ lb de } 0 - 20 - 0 = 20 \text{ lb. de P}_2\text{O}_5$$

$$X = 0.64 \text{ lb. de P}_2\text{O}_5$$

$$X = \frac{100 \times 0.64}{20} = 3.20 \text{ lb/pl de } 0 - 20 - 0$$

**Cuadro 30:** Resumen del cálculo de Fósforo

Tablón	Elemento: P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> lb/pl	Fertilizantes 0-20-0 lb/pl
1	0.64	3.20
2		
3		
4		
5		

### Nitrógeno

NF = Nivel adecuado

Ejemplo: Tablón No 1

Producción estimada: 265 qq/mz

Necesidad de Nitrógeno: 351 lb/mz

$$\frac{\text{lb /mz}}{\text{pl/mz}} = \text{lb /pl de N}$$

$$\frac{351 \text{ lb/mz}}{143 \text{ pl/mz}} = 2.451 \text{ lb. /pl de N}$$

Fuente de Nitrógeno = Urea 46% N

$$100 \text{ lb de Urea} = 46 \text{ lb de N}$$

$$X = 2.45 \text{ lb de N}$$

$$X = \frac{100 \times 2.45}{46} = 5.33 \text{ lb de Urea/pl}$$

**Cuadro 31:** Resumen del cálculo de Nitrógeno

Tablón	Elemento: N lb/pl	Fertilizante: Urea lb/pl
1	2.45	5.33
2		
3		
4		

**Cuadro 32:** Resumen nivel crítico  
Encalado

Requerimiento de cal pura								
No	CICE	Al Intercambiable	% Saturación Al	Ton/ha	qq/mz	Área efectiva v <sup>2</sup>	Lb/pl	Cal Comerc. lb/pl
1	10.24	2.50	24.41	3.75	52.5	2,095	7.70	9.62

**Cuadro 33:** Fertilizante potasio

No	Nivel		Requerimiento de K				K <sub>2</sub> O	Fertilizante 0 - 0 - 60 lb/pl
	Adecuado ppm	Disponibile ppm	ppm	Kg/ha	lb/mz	lb/pl		
1	217	133	84	168	259	1.81	2.17	3.62

**Cuadro 34:** Fertilizante fósforo

No	Nivel		Requerimiento de P				K <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fertilizante 0 - 20 - 0 lb/pl
	Adecuado ppm	Disponibile ppm	ppm	Kg/ha	lb/mz	lb/pl		
1	25	12	13	26	40.04	0.28	0.64	3.20

**Cuadro 35: FERTILIZANTE: Nitrógeno**

No	Requerimiento N		UREA 46% Lb/pl
	Lb/mz	Lb/pl	
1	351	2.45	5.33

## b) CRITERIO DE SATURACIÓN

### Acidez de Reserva

Acidez de Reserva = Acidez Total – Acidez Intercambiable.

Ejemplo: Tablón 1

$$\text{Acidez de Reserva} = 9.61 - 2.50 = 7.21 \text{ meq} / 100\text{g}$$

### Sumatoria de Bases

Sumatoria de Bases = Sumatoria de los cationes básicos

Sumatoria de Bases = Ca + Mg + K intercambiable

Ejemplo: Tablón 1

$$\text{Sumatoria de Bases} = 6.0 + 1.40 + 0.34 = 7.74 \text{ meq}/100\text{g}$$

### Capacidad de Intercambio Catiónico Efectivo = CICE

CICE = Sumatoria de Bases + Al intercambiable

CICE = Ca + Mg + K + Al intercambiable

Ejemplo: Tablón 1

$$\text{CICE} = 6.0 + 1.40 + 0.34 + 2.50 = 7.74 + 2.50$$

$$\text{CICE} = 10.24 \text{ meq}/100\text{g}$$

### Capacidad de Intercambio Catiónico Total = CICT

CICT = CICE + Acidez de Reserva

CICT = Sumatoria de Bases + Acidez Total

CICT = Ca + Mg + K + H + Al

Ejemplo: Tablón No. 1

CICT = CICE + Acidez de Reserva

$$\text{CICT} = 10.24 + 7.21 = 17.45 \text{ meq}/100\text{g}$$

$$\text{CICT} = 6.0 + 1.4 + 0.34 + 9.71 = 17.45 \text{ meq}/ 100\text{g}$$

### Porcentaje de Saturación de Calcio

$$\% \text{ Ca} = \frac{\text{Ca intercambiable} \times 100\%}{\text{CICT}}$$

Ejemplo: Tablón No. 1

$$\% \text{ Ca} = \frac{6 \times 100}{17.45} = 34.4\%$$

### Porcentaje de Saturación de Magnesio

$$\% \text{ Mg} = \frac{\text{Mg intercambiable} \times 100\%}{\text{CICT}}$$

Ejemplo: Tablón No. 1

$$\% \text{ Mg} = \frac{1.40 \times 100}{17.45} = 8 \%$$

### Porcentaje de Saturación de Potasio

$$\% \text{ K} = \frac{\text{K intercambiable} \times 100\%}{\text{CICT}}$$

Ejemplo: Tablón No. 1

$$\% \text{ K} = \frac{0.34 \times 100}{17.45} = 2 \%$$

### Porcentaje de Saturación de Acidez Total (H + Al)

$$\% \text{ H + Al} = \frac{\text{Acidez Total} \times 100}{\text{CICT}}$$

Ejemplo: Tablón No. 1

$$\% \text{ H + Al} = \frac{9.71 \times 100}{17.45} = 55.6 \%$$

### Porcentaje de Saturación de Bases (Ca + Mg + K)

$$\% \text{ S B} = \frac{\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} \times 100}{\text{CICT}} = \frac{\text{Sumatoria de Bases} \times 100}{\text{CICT}}$$

Ejemplo: Tablón No. 1

$$\% \text{ S B} = \frac{6.0 + 1.4 + 0.34 \times 100}{17.45} = \frac{7.74 \times 100}{17.45} = 44.4 \%$$

### Requerimiento en porcentaje para cumplir el óptimo

**Cuadro 36:** Ejemplo tablón No. 1

	Óptimo	Existente en el suelo	Faltante
Saturación de Calcio	62 %	34.45	27.6 %
Saturación de Magnesio	18 %	8.0 %	10.0 %
Saturación de Potasio	8 %	2.0 %	6.0 %

## Requerimiento en meq/100 g para cumplir el óptimo

$$\text{Requerimiento en meq/100 g} = \frac{\% \text{ faltante} \times \text{CICT}}{100}$$

Ejemplo: Tablón No. 1

$$\text{Requerimiento de Ca en meq/100 g} = \frac{27.6 \times 17.45}{100} = 4.82 \text{ meq/100 g de Ca}$$

$$\text{Requerimiento de Mg en meq/100 g} = \frac{10 \times 17.45}{100} = 7.75 \text{ meq/100 g de Mg}$$

$$\text{Requerimiento de K en meq/100 g} = \frac{6 \times 17.45}{100} = 1.047 \text{ meq/100 g de K}$$

## Conversión de meq/100 g a qq/Mz

- Transformar meq/100 g a ppm
- Transformar ppm a kg/ha
- Transformar kg/ha a qq/Mz

Ejemplo: Tablón No. 1

$$\text{Ca} = 4.82 \text{ meq/100 g} \times 200 = 964 \text{ ppm de Ca}$$

$$964 \text{ ppm} \times 2 = \frac{1,928 \text{ kg/ha}}{1000 \text{ kg}} = 1,928 \text{ Ton/ha}$$

$$1.928 \text{ Ton/ha} \times 20 \text{ qq/Ton} \times 0.7 \text{ ha/Mz} = 26.99 \text{ qq/Mz de Ca}$$

$$\text{Mg} = 1.75 \text{ meq/100g} \times 122 = 213.5 \text{ ppm de Mg}$$

$$213.5 \text{ ppm} \times 2 = 427. \text{ kg /ha} = 0.427 \text{ Ton /ha}$$

$$0.427 \text{ Ton/ha} \times 20 \text{ qq/Ton} \times 0.7 \text{ ha/Mz} = 6 \text{ qq/Mz de Mg}$$

$$\text{K} = 1.047 \text{ meq/100 g} \times 391 = 409.38 \text{ ppm de K}$$

$$409.38 \text{ ppm} \times 2 = 818.75 \text{ Kg/ha} = 0.81875$$

$$0.8187 \text{ Ton/ha} \times 20 \text{ qq/Ton} \times 0.7 \text{ ha/Mz} = 11.46 \text{ qq/Mz}$$

**Cuadro 37:** Cálculo del área efectiva para cítricos

Población por mz	Área efectiva por pl.
109 – 143	14.65 V <sup>2</sup>
144 – 200	12.03 V <sup>2</sup>
201 – 250	8.94 V <sup>2</sup>

Ejemplo: Tablón No. 1

$$143 \times 14.65 = 2,095 V^2$$

### Ajustes al área efectiva en $V^2$

$$\frac{\text{Área total qq/mz} \times \text{Área efectiva en } V^2}{10,000 V^2}$$

Ejemplo: Tablón No. 1

$$\text{Ca} = 26.99 \text{ qq/mz} \times 2,095 V^2 \qquad 5.65 \text{ qq/mz de Ca}$$

$$\text{Mg} = 6 \text{ qq/mz} \times 2,095 V^2 \qquad 1.26 \text{ qq/mz de K}$$

$$\text{K} = 11.46 \text{ qq/mz} \times 2,095 V^2 \qquad 2.40 \text{ qq/mz de K}$$

### Necesidades de enmiendas

a) Análisis químico de la fuente de cal dolomítica

28% de Ca                  8% de Mg                  95% de PN

Necesidad de Mg = 1.26 qq/mz

$$100 \text{ qq de cal dolomítica} = 8 \text{ qq de Mg}$$
$$X = 1.26 \text{ qq de Mg}$$

$$X = \frac{100 \times 1.26}{8} = 16 \text{ qq/Mz de cal dolomítica pura}$$

$$X = \frac{16}{0.95} = 17 \text{ qq/Mz de cal dolomítica comercial}$$

17 qq/Mz de cal dolomítica para cumplir el requerimiento de Mg

La cal dolomítica presenta 28% Ca o sea:

$$\frac{17 \text{ qq/mz} \times 28}{100} = 4.76 \text{ qq/mz de Ca}$$

Necesidad de Ca = 5.65 qq/mz

$$\text{Ca faltante} = 5.65 - 4.76 = 0.89 \text{ qq/mz de Ca}$$

b) Análisis químico de la fuente de cal agrícola

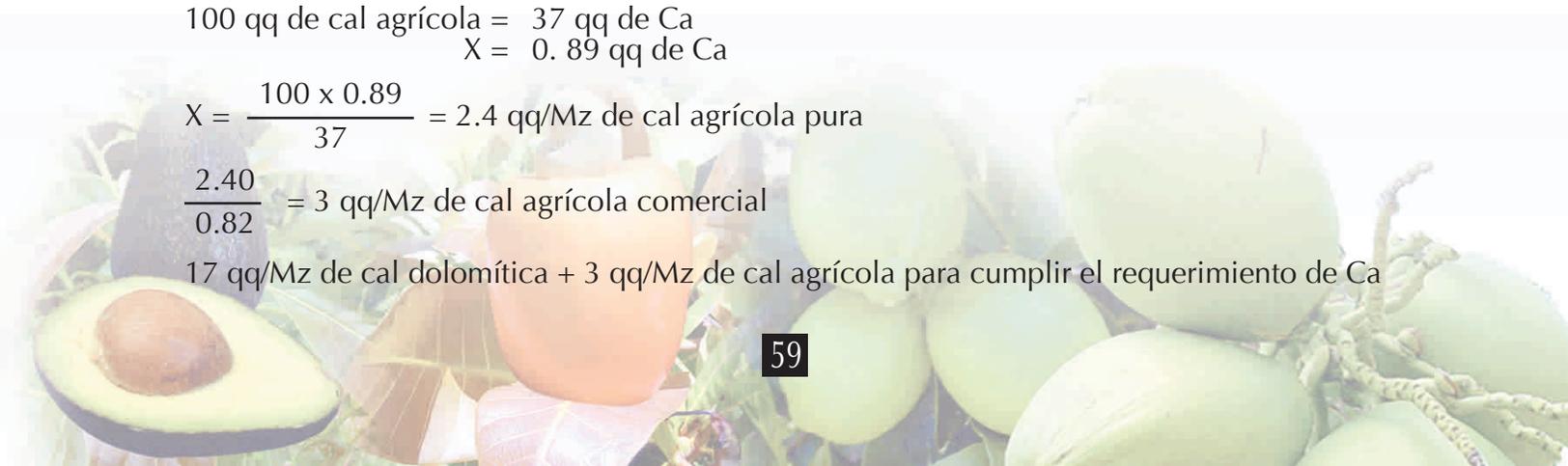
37% de Ca                  82% de PN

$$100 \text{ qq de cal agrícola} = 37 \text{ qq de Ca}$$
$$X = 0.89 \text{ qq de Ca}$$

$$X = \frac{100 \times 0.89}{37} = 2.4 \text{ qq/Mz de cal agrícola pura}$$

$$\frac{2.40}{0.82} = 3 \text{ qq/Mz de cal agrícola comercial}$$

17 qq/Mz de cal dolomítica + 3 qq/Mz de cal agrícola para cumplir el requerimiento de Ca



## Necesidad de fertilizante Potásico

a) Transformar K en K<sub>2</sub>O

$$K_2O = K \times 1.2$$

b) Ajuste del fertilizante

$$0 - 0 - 60 = 60\% \text{ de } K_2O$$

Ejemplo. Tablón 1

$$2.40 \times 1.2 = 2.88 \text{ qq/Mz de } K_2O$$

$$100 \text{ qq de } 0 - 0 - 60 = 60 \text{ qq de } K_2O$$

$$X = 2.88 \text{ qq de } K_2O$$

$$X = \frac{2.88 \times 100}{60} = 4.80 \text{ qq de } 0 - 0 - 60 \text{ por Mz}$$

$$\frac{4.80 \text{ qq/Mz} \times 100 \text{ lb}}{143 \text{ pl/Mz}} = 3.36 \text{ lb/pl de } 0 - 0 - 60$$

**Cuadro 38:** Cálculo utilizando los resultados de análisis de suelo

Tablón	Acidez de Reserva	Sum. de Bases	CICE	CICT	Porcentaje de cada componente dentro de la CICT				% de bases	Relaciones entre las bases		
					Ca	Mg	K	H + Al*		Ca/Mg	Ca/K	Mg/k
1	7.21	7.74	10.24	17.45	34.4	8.0	2.0	55.6	44.4	4.3	17.7	4.1
2												
3												
4												

H + Al = Acidez Total

Tablón	Requerimiento en porcentaje para cumplir lo óptimo			Requerimiento en meq/100g para cumplir lo óptimo			Conversión qq/mz			Pob. / mz	Área efectiva /Mz en V <sup>2</sup>
	Ca	Mg	K	Ca	Mg	K	Ca	Mg	K		
1	27.6	10.0	6.0	4.82	1.75	1.05	26.99	6.0	11.47	143	2,095
2											
3											
4											

Tablón	Ajuste al área efectiva qq/mz			Encalado qq/mz		Fertilizante K <sub>2</sub> O	
	Ca	Mg	K	Cal dolomita	Cal agrícola	qq/mz	lb/pl
1	5.65	1.26	2.4	17.0	3.0	4.8	3.36
2							
3							
4							

**Cuadro 39:** YESO. Sugerencias de aplicación de yeso, de acuerdo al porcentaje de saturación de aluminio (Al en la capacidad de intercambio catiónico efectivas (CICE), profundidad de muestreo 20-40 cm.

Rangos en % de Al en la CICE (20-40 cm.)	Sugerencia de aplicación de yeso, de acuerdo al % de dosis de cal recomendado (0-20 cm)
0-5%	0%
6-10%	20%
11-25%	30%
26-50%	35%
>50%	40%

1. Cálculo de la CICE de acuerdo con los resultados de análisis de suelo 20-40 cm.

CICE = Ca + Mg + K + Al intercambiable

2. Cálculo del % de saturación de Al en la CICE

$$\% \text{ Al} = \frac{\text{Al intercambiable} \times 100}{\text{CICE}}$$

3. Dosis de cal recomendado para 0 - 20 cm.

4. Cálculo de yeso de acuerdo con las sugerencias del cuadro arriba

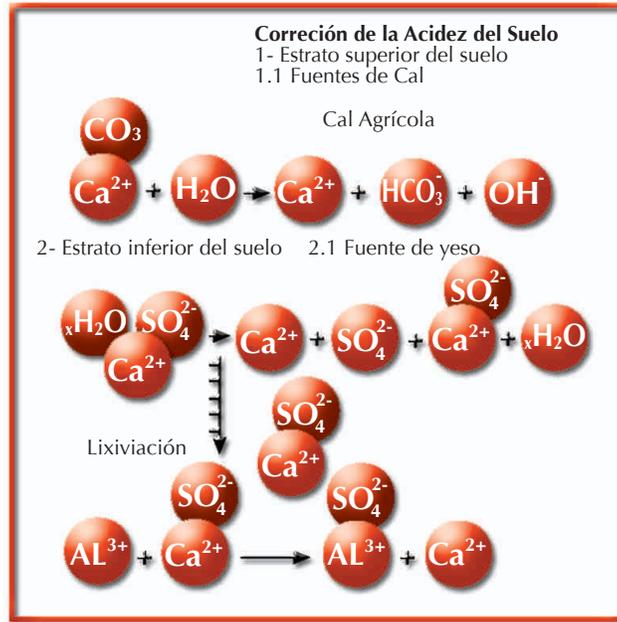
**Cuadro 40:** Resultados de análisis de suelo.  
Profundidad de muestreo: 20 - 40cm

Tablón	PH CaCl <sub>2</sub>	Cationes intercambiables (meq/100g)			
		Ca	Mg	K	Al
1	4.2	7.3	1.90	0.21	0.00
2	3.7	2.9	0.73	0.38	5.92
3	3.8	4.7	1.40	0.33	2.14
4	3.6	1.5	0.16	0.28	6.01
5	3.7	2.3	0.35	0.31	5.53

**Cuadro 41:** Cálculos

Tablón	CICE Meq/100g	% Saturación Aluminio	Cal recomendada 0 - 20cm qq/Mz	Yeso recomendado 20-40 cm qq/Mz
1	9.41	00.00	21	
2	9.93	59.60		
3	8.57	25.00		
4	7.95	75.60		
5	8.49	65.10		

**Figura 12:** Corrección de la Acidez del Suelo.



**Cuadro 42:** Comparativo de los resultados de análisis de suelos muestreo 0-20 centímetros banda de abonamiento

Tablón	Años	CaCl2	% de saturación dentro de la capacidad de intercambio catión-total					Meg/100 cc CICT	% MO	Reducción qq-oro/Mz
		pH	Ca	Mg	K	Ac total	Bases			
La Bomba	1994	4.2	42.2	5.1	2.9	49.8	50.2	17.5	2.9	21
	1995	5.3	68.3	6.2	2.9	22.6	77.4	12.7	3.7	23
	1996	5.6	72.4	8.1	5.1	14.4	85.6	16.7	4.0	28

**Cuadro 43:** Comparativo de los resultados de análisis de suelos muestreo 20-40 centímetros banda de abonamiento

Años	CaCl2 pH	Calcio	Magnesio	Potasio	Aluminio	CICE
1994	3.9	6.63	1.33	0.44	0.44	11.12
1995	4.9	9.10	1.00	0.52	0.52	11.52
1996	5.0	10.60	1.12	0.54	0.54	12.76

**Cuadro 44:** Fertilización para Limón Pérsico en función de la cosecha Requerimiento nutricional en ppm/Mz

Requerimiento qq/mz	ppm de elemento puro/mz			Plantas por mz	Distancia en metros
	N	P	K		
Limón pérsico					
< 202	81	20	200	109	8 x 8
203 - 265	114	25	217	143	7 x 7
266 - 308	130	25	233	166	7 x 6
309 - 371	146	30	248	200	7 x 5
372 - 404	162	30	265	218	8 x 4
>404	178	35	281	250	7 x 4

**Cuadro 45:** Niveles de fertilización en libras pura-Mz

Rendimiento qq/mz	Libras de elemento puro/Mz			Plantas por Mz	Distancia en metros
	N	P	K		
Limón Pérsico					
< 202	250	62	616	109	W
203-265	351	77	668	143	7x7
266-308	400	77	718	166	7x6
309-371	450	92	764	200	7x5
372-404	500	92	816	218	8x4
> 404	550	108	865	250	7x4

Fuente: k oo, et al (1985) y Sánchez, et al (1994) modificado por Gilberto Torres.

### CÁLCULO DEL ÁREA EFECTIVA

$$\frac{1.60 \text{ m}}{3.20 \text{ m}} \times 3.20 \text{ m} \times 3.20 \text{ m} = 10.24 \text{ m}^2 = \frac{\text{Factor de conversión a V}^2}{1.4308} \times 14.65 \text{ V}^2$$

**Cuadro 46:** Cultivos Limón Pérsico

Distancia	Población	Radio	Plantas/Mz	Área efectiva
8 x 8 m	109	1.60m	109-143	10.24 m <sup>2</sup> = 14.65 V <sup>2</sup>
7 x 7 m	143			
7 x 6 m	166	1.45m	144-200	8.41 m <sup>2</sup> = 12.03 V <sup>2</sup>
7 x 5 m	200			
8 x 4 m	218	1.25m	201-205	6.25 m <sup>2</sup> = 8.94 V <sup>2</sup>
7 x 4 m	250			

**Cuadro 47:** Cultivo Aguacate

Distancia	Población	Radio	Plantas/Mz	Área efectiva
12 x 12 m	49	2.0m	49-75	16 m <sup>2</sup> = 22.90 V <sup>2</sup>
10 x 10 m	70			
14 x 7 m	71	1.75m	76-90	12.25 m <sup>2</sup> = 17.53 V <sup>2</sup>
9 x 9 m	86			
8 x 8 m	109	1.50m	91-115	9 m <sup>2</sup> = 12.88 V <sup>2</sup>
9 x 7 m	111			

1 metro = 1.196 V  
1 metro = 1.431 V<sup>2</sup>

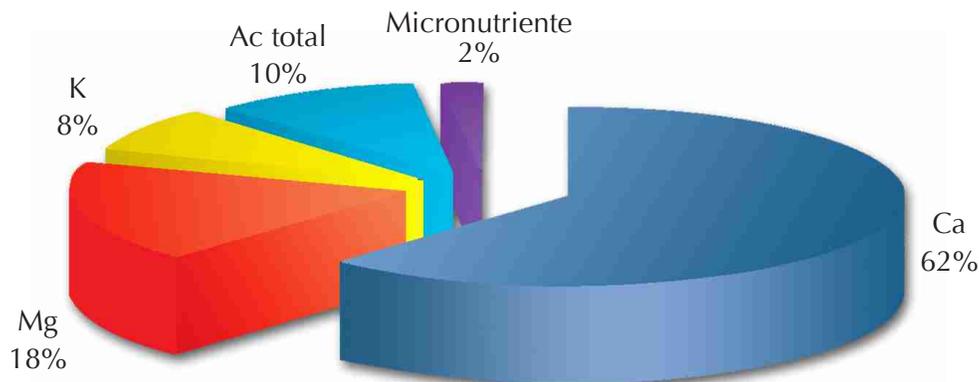


**Cuadro 48:** Interpretación de análisis de la fertilidad de suelos en cítricos

NUTRIENTES	NIVELES		
	BAJO	NORMAL	ALTO
pH	< 5 - 5.9	6.0 – 6.8	>7.0
P ppm	< 15.0	15.0 – 25	>25
K ppm	< 200 – 340	341 – 544	>545
Ca ppm	< 800 – 1799	1800 – 2262	>2263
Mg ppm	< 150 - 200	201 – 383	>384
S ppm	< 12 – 20	21 – 99	>100
Zn ppm	< 2 – 6	6.1 – 36	>37
B ppm	< 0.2 – 0.5	0.6 – 4	>4
Mn ppm	< 1 – 2.0	2.1 – 20	>21
Cu ppm	< 0.5 – 10	2.1 – 15	>16
Fe ppm	< 3 – 10	11 – 25	>26
M.O. %	< 3 – 3.9	4 – 5.9	>6
ACT ppm	< 1 – 1.74	1.75 – 2.0	>5

**Tomado de:** Guía sobre producción de cítricos. Dr. Buchvier. 1994. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola, San Pedro Sula, Honduras. Modificado por: Torres Arias Gilberto. Nota: Las bases y acidez total son calculadas con base en una CICT de 17.40 meq/100g de suelo.

**Figura 13:** Condición equilibrada del suelo para la fertilización en frutales



Ca	62 % =	10.788 meq/100 g =	2157.60 ppm
Mg	18 % =	3.132 meq/100 g =	382.10 ppm
K	8 % =	1.392 meq/100 g =	544.27 ppm
Act	10 % =	1.74 meq/100 g	-
Micro	2 % =	0.35 meq/100 g	-
CICT	100 % =	17.40 meq/100 g de suelo	

## FACTOR DE CONVERSIÓN PARA FERTILIZANTES

### - POTASIO

Transformar K para K<sub>2</sub>O

- Peso molecular de K<sub>2</sub>O

$$\begin{array}{r} K = 39 \times 2 = 78 \text{ g} \\ O = 16 \times 1 = 16 \text{ g} \\ \hline 94 \text{ g} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 94 \text{ g de K}_2\text{O} = 78 \text{ g de K} \\ X = 1 \text{ g de K} \end{array}$$

$$X = \frac{94}{78} = 1.2$$

$$K_2O = K \times 1.2$$

### - FÓSFORO,

Transformar P para P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

-Peso molecular de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

$$\begin{array}{r} P = 31 \times 2 = 62 \text{ g} \\ O = 16 \times 5 = 80 \text{ g} \\ \hline 142 \text{ g} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 142 \text{ g de P}_2\text{O}_5 = 62 \text{ g de P} \\ X = 1 \text{ g de P} \end{array}$$

$$X = \frac{142}{62} = 2.29$$

$$P_2O_5 = 2.29 \times P$$

## TRANSFORMACIÓN DE ppm a Kg/Ha

Área de 1 ha = 1 00 cm x 1 00cm = 1000 m<sup>2</sup>

Volumen de 1 ha con 20 cm ó 0.20 m de profundidad

V = área x profundidad

V = 10,000 m<sup>2</sup> x 0.20m = 2,000 m<sup>3</sup>

Masa de 1 ha = V x densidad aparente

**Para d = 1 g/cm<sup>3</sup> = 1,000 Kg/ m<sup>3</sup>**

M = 2,000 m<sup>3</sup> x 1,000 Kg/m<sup>3</sup> = 2 x 10<sup>6</sup> Kg de suelo /ha

ppm = mg/ Kg = 10<sup>-3</sup> g/Kg = 10<sup>-6</sup> Kg /Kg

10<sup>6</sup> kg de un elemento = 1 Kg de suelo

X = 2 x 10<sup>-6</sup> Kg de suelo

$$X = \frac{2 \times 10^{-6} \times 10^{-6} \text{ Kg/ha}}{1 \text{ Kg de suelo}}$$

$$X = 2 \text{ Kg/ha}$$

$$\text{ppm} \times 2 = \text{Kg/ha}$$

**Para  $d = 1.5 \text{ g/cm}^3 = 1,500 \text{ Kg/ m}^3$**

$$M = 2,000 \text{ m}^3 \times 1,500 \text{ Kg/ m}^3 = 3 \times 10^{-6} \text{ Kg de suelo /ha}$$

$$\text{ppm} = 10^{-6} \text{ Kg/Kg}$$

$$10^6 \text{ Kg de un elemento} = 1 \text{ Kg de suelo}$$

$$X = 3 \times 10^{-6} \text{ Kg de suelo /ha}$$

$$X = \frac{3 \times 10^6 \text{ Kg/ha} \times 10^{-6} \text{ Kg}}{1 \text{ Kg/ha}} = 3 \text{ Kg/ha}$$

$$\text{O sea } \text{ppm} \times 3 = \text{Kg/ha}$$

**Para  $d = 0.8 \text{ g cm}^3 = 800 \text{ Kg/ m}^3$**

$$M = 2,000 \text{ m}^3 \times 800 \text{ Kg/ m}^3 = 1.6 \times 10^{-6} \text{ Kg de suelo/ha}$$

$$\text{Ppm} = 10^{-6} \text{ Kg/kg}$$

$$10^{-6} \text{ Kg/Kg de suelo}$$

$$X = 1.6 \times 10^{-6} \text{ Kg de suelo}$$

$$X = 1.6 \times 10^{-6} \times 10^{-6} \text{ Kg/ha}$$

$$X = 1.6 \text{ Kg/ha}$$

$$\text{ppm} \times 1.6 = \text{Kg/ha}$$

**Cuadro 49: FACTOR PARA TRANSFORMAR ppm a Kg/ha**

Densidad Aparente	Ecuación
1.0 g/cm <sup>3</sup>	ppm x 2.0 = Kg/ha
1.1 g/cm <sup>3</sup>	ppm x 2.2 = Kg/ha
1.2 g/cm <sup>3</sup>	ppm x 2.4 = Kg/ha
1.3 g/cm <sup>3</sup>	ppm x 2.6 = Kg/ha
1.4 g/cm <sup>3</sup>	ppm x 2.8 = Kg/ha
1.5 g/cm <sup>3</sup>	ppm x 3.0 = Kg/ha
1.6 g/cm <sup>3</sup>	ppm x 3.2 = Kg/ha
0.9 g/cm <sup>3</sup>	ppm x 1.8 = Kg/ha
0.8 g/cm <sup>3</sup>	ppm x 1.6 = Kg/ha
0.7 g/cm <sup>3</sup>	ppm x 1.4 = Kg/ha
0.6 g/cm <sup>3</sup>	ppm x 1.2 = Kg/ha

**EQUIVALENTE QUÍMICO.**

$$\text{Peso Equivalente} = \frac{\text{PM}}{\text{Valencia}}$$

**Cuadro 50:** Tabla de conversión para Calcio Magnesio y Potasio

Elemento	Peso atómico	
Calcio	40.08	
Magnesio	24.305	
Potasio	39.1	
Meq/100g	$\frac{\text{ppm} \times 100}{\text{p.eq} \times 1000}$	
Meq/10	$\frac{\text{ppm} \times 100}{\text{p.eq} \times 10}$	
Calcio	$\frac{40.08}{2}$	= 20.04 x 10 = 200.4
Magnesio	$\frac{24.30}{2}$	= 12.15 x 10 = 121.5
Potasio	$\frac{39.1}{1}$	= 39.1 x 10 = 391

**Cuadro 51:** Transformar meq/100 g de suelo a ppm

Potasio =	meq x 391 = ppm
Calcio =	meq x 200 = ppm
Magnesio =	meq x 122 = ppm
Azufre =	meq x 160 = ppm
Aluminio =	meq x 90 = ppm
Zinc =	meq x 326.9 = ppm
Boro =	meq x 36.0 = ppm
Manganeso =	meq x 274.7 = ppm
Hierro =	meq x 186.1 = ppm
Cobre =	meq x 317.75 = ppm

**Cuadro 52:** Niveles nutricionales para la interpretación de los resultados de análisis foliares en el cultivo de aguacate

ELEMENTOS	UNIDAD DE MEDIDA	NIVELES		
		DEFICIENTE	ADECUADO	EXCESIVO (MÁS DE)
Nitrógeno (N)	%	1.60	1.60 - 2.20	2.20
Fósforo (P)	%	0.05	0.08 - 0.25	0.30
Potasio (K)	%	0.35	0.75 - 2.00	3.00
Calcio (Ca)	%	0.50	1.00 - 3.00	4.00
Magnesio (Mg)	%	0.15	0.25 - 0.80	1.00
Azufre (S)	%	0.05	0.20 - 0.60	1.00
Boro (B)	ppm	20.00	50.00 - 100	100
Zinc (Zn)	ppm	10.00	30.00 - 150	150
Hierro (Fe)	ppm	40.00	50.00 - 200	200
Cobre (Cu)	ppm	4.00	5.00 - 15	25
Manganeso (Mn)	ppm	15.00	30.00 - 500	500
Molibdeno (Mo)	ppm	0.04	0.05 - 1.00	1.60
Cloro (Cl)	ppm	-	0.07 - 0.25	0.25
Sodio (Na)	ppm	-	-	0.25

Fuente: Embleton (1,997) y Robinson (1986) valore para muestra de hojas entre 5 y 7 meses de edad en rama productiva

## 9.2 REQUERIMIENTOS DE NUTRIENTES SEGÚN EL NIVEL DE PRODUCCIÓN DE FRUTALES

**Cuadro 53:** Requerimiento de nutrientes según nivel de producción de cocotero alto

Producción estimada coco/pl/año	Requerimiento de nutrientes en kg/ha							
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cl	S	Ca	Mg	Na
70	108,0	39,0	232,0	125,0	9,0	9,0	15,0	20,0
80	123,4	44,6	265,1	142,9	10,3	10,3	17,1	22,9
90	138,9	50,1	298,3	160,7	11,6	11,6	19,3	25,7
100	154,3	55,7	331,4	178,6	12,9	12,9	21,4	28,6
110	169,7	61,3	364,6	196,4	14,1	14,1	23,6	31,4
120	185,1	66,9	397,7	214,3	15,4	15,4	25,7	34,3
130	200,6	72,4	430,9	232,1	16,7	16,7	27,9	37,1

**Cuadro 54:** Requerimiento de nutrientes según nivel de producción de cocotero enano

Producción estimada coco/pl/año	Requerimiento de nutrientes en kg/ha							
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cl	S	Ca	Mg	Na
100	75,60	27,30	162,40	87,50	6,30	6,30	10,50	14,00
110	83,16	30,03	178,64	96,25	3,93	6,93	11,55	15,40
120	90,72	32,76	194,88	105,00	7,56	7,56	12,60	16,80
130	98,28	35,49	211,12	113,75	8,19	8,19	13,65	18,20
140	150,84	38,22	227,36	122,50	8,82	8,82	14,70	19,60
150	113,40	40,95	243,60	131,25	9,45	9,45	15,75	21,00
160	120,96	43,68	259,84	140,00	10,08	10,08	16,80	22,40

**Cuadro 55:** Requerimientos del cultivo de mango

Edad Años	Rendimiento kg/planta	Nitrógeno		Fósforo**		Potasio**		Relación N P K
		----- g/planta -----						
		N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O		Proporción de N - P - K
		a - b*		a - b		a - b		
Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
2	4	20	25	10	12	25	30	1 - 0.5 - 1.2
4	56	230	250	115	175	225	420	1 - 0.5 - 1.2
6	80	330	500	165	250	395	600	1 - 0.5 - 1.2
8	160	660	995	330	490	790	1195	1 - 0.5 - 1.2
10	220	908	1360	450	680	1090	1630	1 - 0.5 - 1.2
12	300	1322	1980	660	990	1580	2370	1 - 0.5 - 1.2
14	320	1322	1980	660	990	1580	2370	1 - 0.5 - 1.2
16	320	1322	1980	660	990	1580	2370	1 - 0.5 - 1.2
18	320	1322	1980	660	990	1580	2370	1 - 0.5 - 1.2
20	220	908	1360	450	680	1090	1630	1 - 0.5 - 1.2
22	220	908	1360	450	680	1090	1630	1 - 0.5 - 1.2
24	220	908	1360	450	680	1090	1630	1 - 0.5 - 1.2
26	160	660	995	330	490	790	1195	2 - 0.5 - 1.2
28	160	660	995	330	490	790	1195	3 - 0.5 - 1.2

**Cuadro 56:** REQUERIMIENTOS PARA MARAÑÓN

Edad	Marañón enano precoz			Marañón común		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1° Año	60	120	60	40	120	60
2° Año	80	60	60	60	60	40
3° Año	120	90	90	80	70	70
4° Año	140	100	120	100	80	80
5° Año	140	100	120	120	90	90
6° Año	140	100	120	140	90	90
7° Año	140	100	120	120	90	90
8° Año	140	100	120	140	120	120
9° Año	140	100	120	140	120	120
10° Año	140	100	120	140	120	120

Fuente: EMBRAPA, CHPAT, 1995

**Cuadro 57:** REMOCIÓN DE NUTRIENTES DE ACUERDO A LA PRODUCCIÓN DE FRUTA FRESCA EN CUATRO VARIEDADES DE AGUACATE

Nutriente	-----Remoción de nutrientes-----							
	----- g por 100kg de fruta fresca-----				----- kg por 20 t de fruta fresca-----			
	Hass	Choquette	Hall	Booth-8	Hass	Choquette	Hall	Booth-8
N	257.0	151.0	145.0	185.0	51.5	30.1	29.1	36.9
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	103.0	69.2	49.9	58.2	20.6	13.0	10.0	11.6
K <sub>2</sub> O	469.0	302.0	296.0	271.0	93.8	60.5	59.2	54.3
Ca <sup>1</sup>	8.4	8.7	6.5	10.4	1.7	1.7	1.3	2.1
Mg	29.5	16.3	16.5	22.3	5.9	3.3	3.3	4.5
S	34.5	19.2	18.4	22.6	6.9	3.8	3.7	4.5
Cl <sup>1</sup>	12.0	7.3	0.2	7.4	2.4	1.5	0.04	1.5
Fe <sup>1</sup>	0.6	1.0	0.4	0.7	0.12	0.2	0.08	0.14
Cu <sup>1</sup>	0.2	0.1	0.2	0.2	0.04	0.02	0.04	0.04
Mn <sup>1</sup>	0.1	0.1	0.01	0.07	0.02	0.02	0.002	0.014
Zn	0.4	0.3	0.3	0.2	0.08	0.06	0.06	0.04
B	0.4	0.2	0.2	0.3	0.08	0.04	0.04	0.06
Mo	0.02	0.01	0.01	0.01	0.004	0.002	0.002	0.002
Na <sup>1</sup>	1.0	0.6	0.8	1.0	0.2	0.12	0.16	0.2
Al <sup>1</sup>	0.3	0.3	0.2	0.4	0.06	0.06	0.04	0.08

<sup>1</sup> Ca = calcio; Cl = Cloro; Fe = hierro; Cu = cobre; Mn = manganeso; Na = sodio; Al = aluminio

Fuente: Salazar y Lazcano, 2001. INPOFOS

## 10 BIBLIOGRAFÍA

1. AGRI-LAB. sf. Instructivo para la toma de muestras foliares. 2p.
2. AVILÁN L.R, RENGIFO C.A. 1984. Muestreo de suelos con fines de fertilidad en áreas frutícolas. Carta agrícola año 6 -2 Abril-Junio. FONAIAP. 12p.
3. BAIZA, V. 2003. Guía técnica del cultivo de aguacate. MAG /IICA. Santa Tecla, El Salvador. 62p.
4. BERTSCH F, H. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. 1ª ed. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José. Costa Rica. 157p.
5. BERTSCH F, H. 2003. Absorción de Nutrimientos por los cultivos 1ª ed. San José. Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 307p.
6. BORNEMIZZA, E.; ALVARADO, A. 1974. Manejo de Suelos en la América Tropical. North Carolina State University, Raleigh, N.C. USA. 582p.
7. BONILLA, S. DE ALEGRÍA. 1992. Manual de métodos de análisis de suelo. Recopilado CENTA-MAG, San Andrés, El Salvador.
8. DOMINQUEZ VIVANCOS A. 1978. Abonados minerales 5ª ed. MAG-Madrid.
9. FERTICA sf. Manual del servicio de análisis de suelo. 10p.
10. FINCK, A. 1982. Fertilizers and fertilization. Introduction and guide to crop fertilization. Verlag chemie. Weinheim: Deerfield. 438p.
11. FASSBENDER, H. W. 1975. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. IICA. Turrialba, Costa Rica. 389p.
12. GALDAMEZ, A. 2004. Guía técnica del cultivo de marañón. MAG /IICA. Santa Tecla, El Salvador. 60p.
13. INPOFOS. 2002. Informaciones Agronómicas, octubre de 2002. No. 48. Quito, Ecuador. 16 p.
14. IRIGOYEN, N. 2004. Guía técnica del cultivo de níspero. MAG /IICA. Santa Tecla, El Salvador. 54p.
15. LEMUS F. G. Sf. Guía práctica de interpretación de reportes. Agri-Lab Guatemala. 12p mimeografiadas.
16. LIZANO, M. 2001. Guía técnica del cocotero. MAG/USDA/IICA. Santa Tecla, El Salvador. 52 p.
17. MALAVOLTA E. 1981. Manual de química agrícola. Adubos e Adubacao. 3ª ed. Editorial Cores Sau Paulo.
18. MALDONADO R. T.; OSORIO H. O. Sf. Fertilización de los cítricos. Universidad Autónoma Chapingo, México. 34p.
19. MENGEL K.; KIRKBY E.A. 1979. Principles of plant nutrition, 2ª ed. International Potash Institute. Bern/Switzerland. 590p.
20. MIRANDA A.A. 1989. Consideraciones para uniformizar los resultados de un análisis químico de suelos. Separata IICA/PROMECAFE. Nov. San José, Costa Rica. 33p.

21. MOREIRA C.S.; MALAVOLTA, E.; RODRIQUEZ O. 1983. Nutricao Mineral e adubacao dos citricos. Boletín técnico 5. 4ª ed. Instituto Internacional de Potassa. Suica Piracicaba,.s.p.Brasil.123p.
22. MORTVEDT J. J.; GIORDANO P. M.; LINDSAY W. L. 1983. Micronutrientes en Agricultura. AGTed. México D. F. 724p.
23. PLATOU J, S.; IRISH R.1985. El cuarto nutriente principal. Sulphur Institute, Washington D.C. 32p.
24. PROCAFE. 1996. Muestreo foliar de cafetos para análisis. Cartilla técnica 4. 12p.
25. ROJAS E. 1975. Notas sobre nutrición mineral de las plantas. CIDIAT. Mérida, Venezuela.
26. SALAZAR, S. Y LAZCANO, I. 2001. Remoción de nutrientes de cuatro cultivares de aguacate. INPOFOS. Informaciones Agronómicas No. 47. México.
27. SANCHEZ P. 1981. Suelos del trópico: características y manejo. IICA. San José. Costa Rica. 660p.
28. SUAREZ A. 1999. Manual sobre técnicas de muestreo foliar para recomendaciones de fertilización. 4ª ed. Cortés, Honduras. FHIA. 66p.
29. TZUL, L. 2004. Los fertilizantes y sus usos CITRI-NEWS. Jun-Sept, pp. 14-23.
30. VANEGAS, M. 2002. Guía técnica del cultivo de limón pérsico. MAG/IICA. Santa Tecla, El Salvador. 56p.

