

# Fertilización de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) con elementos secundarios en varios suelos de Colombia<sup>1</sup>

Fertilization of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) with secondary elements in several soils in Colombia

Eric Owen Barlett<sup>2</sup>

## RESUMEN

En palma de aceite, los análisis de suelos sirven para seleccionar los lotes y el análisis foliar para pronosticar el uso de las enmiendas y fertilizantes, pero deben estandarizarse con experimentos de fertilización. La palma de aceite incrementa la extracción de nutrientes después del primer año de trasplantada, requiriendo en su orden Azufre > Calcio > Magnesio. Los niveles críticos de los elementos en la hoja 17 son Mg 0,27 - 0,30%, Ca 0,60 - 0,70% y S 0,20 - 0,23%, y varían según la edad, clima y método de determinación. Las enmiendas se deben aplicar: 50% antes de arar y 50% después de la primera rastrillada. Los fertilizantes deben localizarse donde se encuentran la mayor parte de las raíces absorbentes, aplicándose al voleo en un círculo de 1,5 a 2,5 m del estipe en palmas de 1 a 2 años de edad, y de 1,5 a 4,0 m, en palmas de 3 a 5 años. En palmas adultas también se aplica al voleo pero en las interlíneas. Hay muchas fuentes de fertilizantes de alta solubilidad en el mercado nacional. Las subregiones Planicies Aluviales de la zona de Puerto Wilches (Sant.) y la región Llanos Orientales son las de más bajos contenidos de Ca y Mg en los suelos. El S es bajo en las subregiones Zona Bananera y Planicie Aluvial Araguaí, en las regiones Valles Interandinos y Llanos Orientales. Las recomendaciones de fertilizantes para vivero y sitio definitivo se refieren a condiciones específicas, y por ello es difícil hacer una generalización.

## SUMMARY

In oil palm plantations, soil analysis is useful to select the plots and leaf analysis to schedule the use of ameliorators and fertilizers. These analyses must be standardized by fertilization trials. Oil palm increases its nutrient uptake after the first year of planting and it requires, in the same order, Sulphur > Calcium > Magnesium. Critical levels of these elements in leaf 17 are 0.27 - 0.30% Mg, 0.60 - 0.70% Ca and 0.20 - 0.23% S, and these levels vary according to the age, climate and method used to determine the level. 50% of the ameliorators should be applied before ploughing and 50% after the first scraping. Fertilizers should be applied where most of the uptaking roots are located by spreading them in a circle of 1.5 to 2.5 m from the stem, for 1 to 2 year old palms, and of 1.5 to 4.0 m, for 3 to 5 year old palms. In adult palm trees, fertilizers are also applied with a spreader but in the interrows. There are many sources of highly soluble fertilizers in the Colombian market. The soils of the sub-regions of the Alluvial Plains of Puerto Wilches (Santander) and the Llanos Orientales have the lowest level of Ca and Mg. S is low in the Banana Growing Areas and in the Alluvial Plain of Araguaí, the Inter-Andean Valleys and the Llanos Orientales. Fertilization recommendations for the nursery stage and after planting refer to specific conditions and therefore it is difficult to generalize.

Palabras Claves: Palma de aceite, Fertilización, Suelos, Elementos Secundarios.

<sup>1</sup> Contribución del Programa de Oleaginosas Perennes. Sección Oleaginosas. División Producción de Cultivos. Subgerencia de Investigación. ICA.

<sup>2</sup> I.A., M.Sc., Ph.D., Edafólogo. Programa Nacional de Oleaginosas Perennes. ICA, C.I. "La Libertad." Apartado Aéreo 2011, Villavicencio - (Meta), Colombia

## INTRODUCCION

Los elementos secundarios (Calcio, Magnesio y Azufre) son tan importantes como los demás elementos esenciales, pero se requieren en menor cantidad que los macronutrientes (N,P,K) y en mayor cantidad que los micronutrientes.

En suelos ácidos, la aplicación de Ca hace la doble función de corregir la acidez y de suministrar el nutriente para las plantas. Afortunadamente, la palma de aceite es tolerante a la toxicidad del aluminio intercambiable y no requiere de su neutralización total. Sin embargo, estos suelos tienen un contenido muy bajo de Mg y S, y desafortunadamente se ha hecho poca investigación sobre estos elementos.

En suelos ácidos se presenta deficiencia de Mg agravada por la toxicidad del aluminio intercambiable, mientras que en suelos alcalinos son poco absorbidos los excesos de Ca.

El Ca es poco estudiado debido a su alto contenido en los suelos neutros y alcalinos, y por la tolerancia de la palma a la toxicidad de Al. En suelos muy fuertemente ácidos, la palma requiere de Ca como fertilizante, ya que se obtienen mayores rendimientos si se neutraliza un bajo porcentaje de saturación de Al (25-33%) con aplicaciones bajas de Ca (por ejemplo 1,0a 1,5 t/ha).

Aunque la mayoría de los suelos donde se cultiva palma de aceite presenta bajo contenido de azufre, no se ha visto la necesidad de aplicar este elemento porque se está aplicando con los otros fertilizantes (Sulpomag. Sulfato de Magnesio, Sulfato de Potasio y Sulfato de Amonio). Un buen manejo del azufre aumentará la eficiencia de los fertilizantes nitrogenados, incrementando la producción y la productividad.

Este trabajo sobre fertilización de la palma de aceite con elementos secundarios está basado en revisión de literatura nacional y de otros países tropicales, investigaciones llevadas a cabo por el Instituto Colombiano Agropecuario - ICA, la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite - FEDEPALMA y observaciones hechas a nivel de campo. Se hace énfasis en las características del suelo, estado nutricional

de la palma, los requerimientos nutricionales y el uso eficiente de los fertilizantes.

Se espera que este documento contribuya a aumentar la producción y la productividad de la industria palmera, y sea una fuente de consulta sobre los elementos secundarios para los Asistentes Técnicos dedicados al cultivo de la palma de aceite.

## ESTADO NATURAL EN EL SUELO

### Calcio

La disponibilidad de Ca y Mg depende del material parental, así como de la mineralización e intensidad de ello. Suelos derivados de arenisca y granito son pobres en Ca y Mg, en cambio los de origen volcánico y los aluviales son ricos en estos elementos.

Las arcillas de tipo 2:1 como: Hita, montmorillonita y vermiculata son más ricas en Ca y Mg que las de tipo 1:1 como caolinita, y ésta más que la gibsita y geotita. Entre más arcilla mineralizada (gibsita y goetita), a textura más gruesa y a mayor precipitación habrá mayor pérdida del Ca y Mg por lixiviación. Por ello se espera encontrar bajos contenidos de Ca y Mg en aquellos suelos de textura gruesa y ácidos, en regiones con alta precipitación.

El Ca se encuentra en el suelo como carbonato, fosfato, sulfato, silicato orgánico, intercambiable en los coloides y soluble. Estos dos últimos son los aprovechables por las plantas y es absorbidos como  $Ca^{++}$  (Malavolta et al. 1962; Tisdale y Nelson 1975).

### Magnesio

Aunque el material parental de algunos suelos (basalto, peridotita y dolomítica) puede ser alto en Mg, el contenido de estos suelos ubicados en zonas húmedas, es bajo (Hobt y Keimmier s.f.).

La alta precipitación en suelos de baja capacidad de intercambio catiónico incrementa la movilidad y causa pérdidas de Mg por lixiviación. En cambio, en las zonas áridas, los suelos son alcalinos y por la poca lixiviación, el contenido de Mg y carbonatos de Mg es alto.



*La palma de aceite  
es tolerante a la  
toxicidad del  
aluminio  
intercambiable  
y no requiere de  
su neutralización  
total*

En el suelo, el Mg se encuentra como silicato, carbonato, intercambiable (absorbidos a los coloides) y en forma soluble. Tanto el soluble como el intercambiable son disponibles para la planta, el cual es absorbido como  $Mg^{+2}$  (Malavolta et al. 1962; Tisdale y Nelson 1975).

## Azufre

En el trópico, el contenido de azufre es bajo por la disminución del contenido de materia orgánica y la lixiviación. Según Blair (1979), este elemento se encuentra en el suelo de varias formas, las cuales se describen a continuación.

**Minerales primarios.** Sulfuros metálicos de las rocas plutónicas que se oxidan en la meteorización.

**IONES DE SULFATOS EN SOLUCIÓN.** En las regiones húmedas su contenido está alrededor de 10 ppm con considerable fluctuación por la mineralización de la materia orgánica, lavado de sulfatos solubles y absorción por la planta; así como por adiciones de la lluvia, agua de riego, fertilización y agroquímicos.

**Sulfatos absorbidos.** Las superficies de óxidos de Fe y Al, y los bordes meteorizados de las arcillas tienen cargas positivas y atraen aniones. Este fenómeno se denomina capacidad de intercambio aniónico (CÍA). Varía con la naturaleza y cantidad de superficie de los óxidos activos, contenido de arcillas, tipo de arcilla y pH. La reacción es reversible y dependiente de la concentración; el orden de mayor a menor CIA es: óxidos Fe y Al > Illita > Montmorillonita.

El ión sulfato tiene una afinidad específica para la adsorción y su presencia reduce completamente la adsorción de los no específicos como nitratos y cloruros. En cambio, los fosfatos son más activos que los sulfatos y los remueve e impide su adsorción.

**Sulfatos de ésteres unidos orgánicamente.** Son los grandes componentes de los sulfatos orgánicos (cloruros, sulfitos, sulfatos fenólicos y polisacáridos). Esta fracción de azufre no es disponible por la planta. Al romperse las uniones del éster se libera azufre disponible. El secamiento del suelo rompe estas uniones.

Compuestos orgánicos de azufre. Es reserva para la planta. Para su disponibilidad, la materia orgánica

debe descomponerse y el azufre orgánico se mineraliza a sulfato por la acción microbiana. Los factores que influyen en la mineralización son: temperatura ( $40^{\circ}C$ ), humedad del suelo (60% de la capacidad de campo), contenido de azufre en la materia orgánica ( $> 0,15\%$ ), presencia de plantas y la relación C:N:S en el suelo alrededor de 108:8:1.

El contenido de sulfato y azufre disponible son relativamente más bajos en la superficie del suelo que en el subsuelo, ya que hay lixiviación de ellos; en cambio, el azufre de reserva u orgánico se encuentra más en la superficie (acumulación de materia orgánica) que en el subsuelo (Anónimo 1964).

*Aunque la mayoría de los suelos donde se cultiva palma de aceite presenta bajo contenido de azufre no se ha visto la necesidad de aplicar este elemento.*

Aunque las plantas superiores absorben el  $SO_2$  de la atmósfera por las hojas, esta absorción es a baja tasa, mientras que el transporte del  $SO_4$  está limitado al xilema; por lo anterior, no se satisfacen los requerimientos Marschner (1986). La planta absorbe sus necesidades de azufre por la raíz en forma de sulfato (SO<sub>4</sub>). Este sulfato se encuentra absorbido a los coloides y no se mueve fácilmente a la raíz por flujo de convenciones o difusión (Blair 1979). El sulfato disponible para las plantas es el balance entre el absorbido y el lixiviado.

Las distintas formas de azufre, en un suelo bien aireado, deben tener sus respectivas reacciones químicas (ver a continuación) para que sea disponible para la planta (Tandon 1987).

- S - Sulfatos -•disolución -•Disponible
- S - Elemental -•oxidación -• disolución-»Disponible
- S - Polisulfuros -•descomposición a S-Elemental -• oxidación -•disolución -•Disponible.
- S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- Tiosulfatos-> descomposición a S-Elemental -• oxidación -^disolución -• Disponible.
- S - Orgánicos-^ mineralización-•disolución -• Disponible.

Según Blair (1979), Morris (1986), Morris et al. (1987) y Platon e Irish (1985) se espera encontrar suelos pobres en azufre bajo las siguientes condiciones: contenidos bajos en el material parental en regiones de alta meteorización y lixiviación; bajo contenido de materia orgánica; baja disponibilidad de azufre en la materia orgánica de suelos originados de cenizas volcánicas; alta remoción por plantas y la quema de sabanas, pérdida de materia orgánica por erosión, uso y manejo de los fertilizantes.

## FUNCIONES EN LA PLANTA

### Calcio

Este elemento es poco translocado y redistribuido en la planta, y por ello en algunas ocasiones no es suficiente para suplir las necesidades metabólicas de los tejidos jóvenes. Una gran fracción se encuentra en las hojas, paredes celulares y lamela media. Por su poca movilidad, las hojas más viejas contienen más Ca que las jóvenes (Malavolta et al. 1962).

Su movilidad de célula a célula y en el floema es muy baja, y junto con el Boro (B) funciona principalmente fuera del citoplasma, en el apoplasto, al cual penetra fácilmente. Su absorción por el citoplasma es bastante restringida y tiene poca participación en su proceso metabólico.

El Ca se encuentra en las paredes celulares y en la superficie exterior de la membrana plasmática en una forma fácilmente intercambiable. En las paredes celulares y en las membranas forma matices para regular su permeabilidad (Ollagnier et al. 1970; Sprague 1984). Por su capacidad de formar uniones intermoleculares estables pero reversibles (Marschner 1986). Además, se encuentra en la lámina media contribuyendo a la unión de las paredes celulares, y es conocido que la proporción de pectatos de Ca en la pared celular es importante para determinar la susceptibilidad de los tejidos a infecciones fúngicas y una normal maduración de los frutos (Marschner 1986; Ollagnier et al. 1970; Sprague 1984).

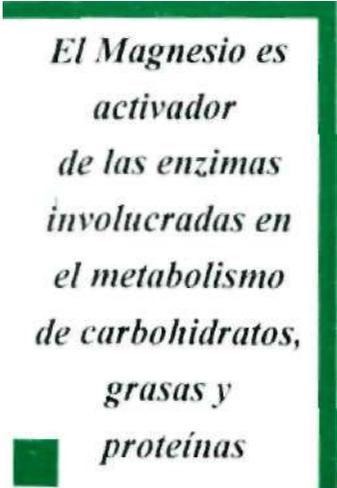
El Ca participa en el metabolismo del N y es activador de la fosfatasa (Malavolta et al. 1962), está involucrado en la regulación del envejecimiento (Marschner 1986). neutraliza las sustancias tóxicas producidas por los procesos metabólicos y mantiene un balance con Mg, K y B (Sprague 1984). Además es importante para la división y extensión celular, y para el desarrollo del tubo polínico (Marschner 1986). Una carencia de este elemento se manifiesta en el no desarrollo del ápice terminal tanto del tallo como de la raíz y la planta decrece (Tisdale y Nelson 1976). Además, como el B, es esencial para el crecimiento y funcionamiento de la raíz (Malavolta et al. 1962).

La deficiencia del Ca produce desintegración general de la estructura de la membrana, la pérdida de los comportamientos celulares y acelera la tasa de respiración (Marschner 1986).

### Magnesio

El Mg es fácilmente translocado en la planta, y por eso se presentan los síntomas de deficiencia en las hojas viejas (Malavolta et al. 1962). Es un elemento esencial en la molécula de clorofila, la cual contiene del 15 al 20% del Mg total de la planta.

Este elemento es activador de las enzimas involucradas en el metabolismo de carbohidratos, grasas y proteínas. Participa en los procesos de transferencia de energía en la planta (fosforilación) y es fundamental en la formación de proteínas (Hobt y Keimmier s.f.). Además forma compuestos fosfatados para poder transportar el P en la planta (Sprague 1984) y regula el transporte de los productos de fotosíntesis a la raíz y a los frutos (Marschner 1986).



*El Magnesio es  
activador  
de las enzimas  
involucradas en  
el metabolismo  
de carbohidratos,  
grasas y  
proteínas*

### Azufre

Según Malavolta et al. (1962), la redistribución del azufre en la planta no es apreciable, y por ello la deficiencia se presenta en las hojas jóvenes. En cambio, Marschner (1986) considera que la tasa de retranslocación del azufre de las hojas viejas a las nuevas depende de la deficiencia de N inducida por el envejecimiento de la hoja, apareciendo deficiencias de azufre en las hojas jóvenes cuando hay contenido apropiado de N y en las hojas viejas cuando el contenido de N es bajo.

Se encuentra mayor contenido de azufre en la hoja que en el tallo, en las proteínas vegetales, en los aminoácidos cisteína, metionina y cistina, en las vitaminas tiamina y biotina (funciones enzimáticas) y en ciertos glucósidos que son característicos de los olores de algunas plantas (Malavolta et al. 1962).

Según Blair (1979), Marschner (1986), Park (1988) y Tisdale y Nelson (1975) la importancia del azufre en la nutrición de las plantas radica en su participación en las siguientes funciones:

- Síntesis de proteínas y aminoácidos esenciales que contienen azufre (metionina, cisteína y cistina), los cuales son componentes esenciales de las proteínas que contienen el 90% del azufre encontrado en la planta.
- Síntesis de la coenzima A, biotina, tiamina y glutatión.
- Esencial para la activación de varias enzimas.

-Requerido para la síntesis de la clorofila, y constituyente de la ferredoxina molecular que participa en el proceso fotosintético.

-Está presente en los aceites de las plantas e incrementa el contenido de aceite en el lino y la soya. Además es constituyente de aceites volátiles encontrados en miembros de las familias Cruciferae y Liliaceae.

-Formación de enlaces disulfuro, los cuales están asociados con las características estructurales del protoplasma y con el incremento de la resistencia al frío y la sequía.

-Participa en la fijación simbiótica de nitrógeno efectuada por las leguminosas y forma parte del sistema enzimático de la nitrogenasa.

El nivel crítico del contenido de azufre en el suelo, establecido con el método ICA para los cultivos, en general, es de 10 ppm<sup>1</sup>; sin embargo, en el suelo también se requiere el balance del azufre con otros nutrientes, como es el caso de la relación N/S, cuyo valor adecuado se considera que debe estar entre 14/1 y 16/1 (Morris 1986). Además, también se requiere un balance apropiado entre el azufre y el Cl (Werkhoven 1966).

Aplicaciones elevadas de fosfatos y aplicaciones de Ca inducen a la lixiviación del azufre (Blair 1979; Werkhoven 1966). En oxisoles, al estudiarse la lixiviación de nutrientes, se encontró que el 90% de las bases fueron acompañadas por el anión sulfato, el 6% por el anión cloruro y el 1% por nitratos. Esto sucede porque al lixivarse los cationes arrastran sus respectivos aniones (Cl\N0<sub>2</sub>,S0<sub>4</sub>) (Blair 1979)

*El contenido de Calcio es desfavorable para las subregiones Planicies Aluviales de la zona de Puerto Wilches y las terrazas medias de los Llanos Orientales*

## REQUERIMIENTOS DE CALCIO, MAGNESIO Y AZUFRE EN EL SUELO PARA LA PALMA DE ACEITE Y SUS CONTENIDOS EN LOS SUELOS PALMEROS DE COLOMBIA.

### Requerimientos

Varios autores, utilizando el método de extracción de bases con acetatos de amonio a pH 7, han establecido contenidos mínimos de Ca y Mg en el suelo para el buen desarrollo de la palma de aceite.

Olivin (1968) estableció el nivel crítico de Ca en el suelo en 0,60 me/100 g, y Pacheco et al. (1985) en 1.0 me/100 g. Respecto al Mg, Werkhoven (1966) lo estimó en 0,40 me/100 g. Sin embargo, Fallavier y Olivin (1966) consideran que se presenta deficiencia de Mg cuando su saturación respecto a las demás bases del suelo es menor o igual al 15% y no se presenta cuando es del 16 al 23%.

Además de los valores absolutos de cada elemento, es necesario considerar la relación existente entre todas las bases. Olivin (1968) indica las siguientes relaciones como óptimas: Ca/K = 2 - 40; Mg/K = 2-15; (Ca+Mg)/K = 5-55. Ng (1977) \*

\* considera como óptima la relación Mg/k mayor de 2 para arcillas del tipo 2:1, y menor a 2 para arcillas del tipo 1:1.

## CONTENIDO DE ELEMENTOS SECUNDARIOS EN LAS REGIONES PALMERAS DE COLOMBIA<sup>2</sup>

Para realizar este diagnóstico se escogieron las cuatro principales regiones palmeras de Colombia: Costa Atlántica, Valles Interandinos, Llanos Orientales y Costa Pacífica, y se tomaron muestras representativas (plataciones) en cada subregión.

En cada plantación, donde fue posible, se escogieron tres lotes con producción superior, intermedia e inferior, donde se tomaron muestras de suelo de 0-20 cm de profundidad, en las zonas de planteo e interlíneas.

Los análisis de suelos se efectuaron en el Laboratorio de Suelos del Centro de Investigación "Tibaitatá" del Instituto Colombiano Agropecuario ICA, en Mosquera (Cund.).

1 LORA, R. 1989 Comunicación personal. Laboratorio de Suelos ICA, CI "Tibaitatá. "Apartado Aéreo 151123 El dorado, Santafé de Bogotá, D.C., Colombia.

2. Este diagnóstico se realizó bajo el patrocinio de la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite - FEDEPALMA, dentro del Convenio ICA-FEDEPALMA. El autor agradece a FEDEPALMA y a las plantaciones por su valiosa colaboración.

El contenido de los elementos secundarios ca, Mg y S se reporta por regiones y subregiones en la Tabla 1 (Owen 1990). En ella se observa que el contenido de Ca es desfavorable para las subregiones Planicies Aluviales de la zona de Puerto Wilches (Sant) y las Terrazas Medias y Altas de los Llanos Orientales. En las otras subregiones del país, el contenido de Ca en el suelo es adecuado.

Tabla 1. Promedio del contenido de Calcio, Magnesio y Azufre en las principales regiones y subregiones palmeras de Colombia' (Owen 1990)

Región	Plantación me / 100%		
	Ca	Mg	S
<b>Costa Atlántica</b>	7,63	2,20	12,8
Zona Bananera	9,49	2,86	6,0*
Plan. Aluvial Ariguani	10,86	1,86	9,0*
Piedemonte Perijá	4,00	1,56	22,1
<b>Valles Interandinos</b>	3,32	0,95	5,4*
Plan. Aluvial San Alberto	9,69	2,57	3,3*
Plan. Aluvial Pto. Wilches	0,49	0,22*	6,3*
<b>Llanos Orientales</b>	1,12	0,23	8,3*
Terrazas Bajas	1,54	0,32*	9,0*
Terrazas Medias	0,52*	0,08*	6,0*
Terrazas Altas	0,43*	0,09*	8,6*
<b>Costa Pacifica</b>	3,14	0,91	13,5
Aluviones Recientes	5,02	1,37	10,0
Colinas Onduladas	2,12	0,70	17,6
Colinas Quebradas	1,46	0,39	12,5

\* Desfavorables

" Valores favorables:

Calcio	>	1,00 me/100 g (Pacheco et al (1985)
Magnesio	>	0,40 me/100 g (Werkhoven (1966)
Azufre	>	10ppm (Lora <sup>2</sup> )

El contenido de Mg en el suelo es desfavorable en las subregión Planicie Aluvial de la zona de Puerto Wilches y en la región Llanos Orientales.

El contenido de azufre en el suelo es desfavorable en las subregiones Zona Bananera de Santa Marta, Planicie Aluvial del río Ariguani, en las regiones de los Valles Interandinos y Llanos Orientales.

## PRODUCCION DE MATERIA SECA Y ABSORCION DE NUTRIENTES

En el cultivo de palma de aceite, la concentración de los nutrientes y la producción de materia seca en las diferentes partes de la palma es variable, debido al clima y tipos de suelo, pero, en general, sigue la misma tendencia.

2. Lora R. 1989 Comunicación personal. Laboratorios de Suelos ICA, Cl. Tibaltatá". Apartado Aéreo 151123 El dorado, Santafé de Bogotá, D.O.Colombia.

Chan et al. (1980) reportan valores de materia seca y contenido de Ca, Mg y S para una plantación de 30 años de edad (Tabla 2). Pero estos valores varían con la edad (Ng 1972), porque la palma incrementa la absorción de nutrientes después del primer año de trasplantada (Tabla 3 y Fig. 1.).

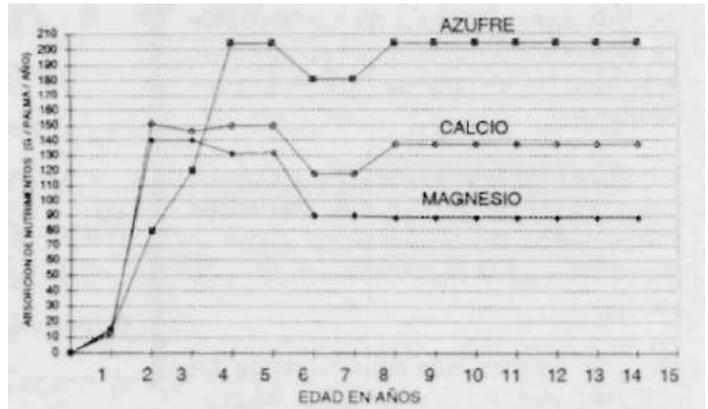


Figura 1 Estimativos de la absorción de nutrientes secundarios según la edad de la palma africana (Ng 1972)

Ng (1972) estimó la absorción de Ca y Mg por año en una plantación con una densidad de 148 palma ha (Tabla 4). En la Tabla 5 se presentan los valores promedios de inmovilización de Ca y Mg en plantaciones de 20 años de edad, en Nigeria y Congo (Tinker y Smilde 1963; Werkhoven 1966). Estos datos muestran que el 78% del Ca y el 81,4% del Mg absorbido es fijado y no se recicla.

Tabla 2. Producción de materia seca y contenido de nutrientes secundarios en varios órganos de la palma de aceite (kg/ha), Chan et al. 1980).

Partes	M.S.	Ca	Mg
<b>Una vez en 30 años</b>			
Estipe	74.480	146,4	88,3
Hoja	14.467		
Foliolo	4.780	7,1	8,4
Raquis	9.687	28,6	15,6
Subtotal / 30 años	88.947	182,1	112,3
<b>En un año de producción 20 t RFF/ha</b>			
Hoja podada	10.400		
Foliolo	3.441	5,1	6,0
Raquis	6.959	20,5	11,2
Raquis vacío	1.546	2,3	2,7
Fibra	1.626	1,8	2,0
Cuesco	938	0,2	0,2
Subtotal	14.510	29,9	22,1
Efluentes	673		
Crudos	-	5,4	4,7
Digeridos	-	3,1	3,9
Subtotal	-	8,5	8,6
<b>Total/año</b>	<b>18.147,9</b>	<b>44,5</b>	<b>34,4</b>

Tabla 3. Estimativo de la absorción de nutrientes secundarios (g/palma/año) según la edad de la palma de aceite (Ng1972).

AÑOS	Ca	Mg	S
1 - 2	151	140	79
2 - 3	145	139	120
3 - 5	150	131	240
5 - 7	118	91	181
7 - 15	136	90	205
Total	1.933	1.460	2.621

Tabla 4. absorción estimada de nutrientes secundarios de 148 palmas adultas por hectarea y su distribución en distintos órganos de la planta (Ng 1972).

Partes	Elementos			
	Ca		Mg	
	kg	%	kg	%
Acumulado	13,9	13,9	11,5	18,18
Hojas podadas	61,6	61,6	22,4	36,50
25 t racimos	19,5	19,6	20,6	33,90
Inflorescencias masculinas	4,4	4,5	6,6	10,60
Total	99,3	100,0	61,3	100,00

Tabla 5. Nutrientes secundarios inmovilizados (kg/ha) en una plantación de 20 años con una producción de 11 t/ha de racimos (Tinker y Smilde 1963; Werkhove 1966).

Parte de la planta	kg/ha	
	Ca	Mg
Tronco	190,0	164,5
Hojas	68,5	37,5
Raíces	7,5	17,0
Racimos	82,0	73,5
Total	348,0	292,5

Según Hagstron (1988) y Ollagnier et al. (1970), la producción de 30 y 15 t/ha/año, respectivamente, requiere de las cantidades de Ca y Mg reportados en la Tabla 6. Esto demuestra que se requiere igual cantidad de Mg y azufre para la producción de fruto y un poco meros de Ca.

Ng (1972) resume a varios autores y reporta la cantidad de nutrimentos para la producción de una tonelada de aceite (Tabla 7), mostrando que hay muy poca diferencia entre los requerimientos de Ca y Mg, siendo la de Ca un poco mayor.

Tabla 6. Nutrientes secundarios requeridos en kg/ha para la producción de 15 y 30 t/ha de racimos

Elemento	Producción t/ha	
	30 *	15 **
Calcio (kg/ha)	-	25
Magnesio (kg/ha)	28	20
Azufre (kg/ha)	28	-

\* Hagstron 1988

\*\* Ollagnier et al. 1970

Tabla 7. Varios estimativos de nutrientes secundarios extraídos por una tonelada de racimos de fruto fresco en kg (Ng 1972).

Fuente	Pais	Tipo Fruta	kg/t RFF	
			Ca	Mg
Wilbaux	Congo	Tenera	0,54	0,40
Wilbaux	Congo	Tenera	0,70	0,65
Ferwards y				
Tinkey	Congo	Dura	0,46	0,38
Smilde	Nigeria	Dura	0,50	0,43
Ng yThambo	Malasia	Dura	0,77	0,82

## NIVELES CRITICOS Y SINTOMAS DE DEFICIENCIA DE LOS NUTRIMENTOS SECUNDARIOS

### Calcio

El nivel crítico de este nutrimento se ha estimado en 0,60% para la hoja 17 ( Ferrand 1960; Ollagnier et al. 1970). Rosenquist, citado por Ng (1972), propone el valor de 0,30 - 0,50%. y Hagstron (1988) considera lo siguiente: cuando en la hoja 17 el contenido de Ca es menor de 0.40% se considera deficiente, entre 0.40 - 0,50% bajo, entre 0,50 - 0,60% suficiente, entre 0,60 - 0,70% óptimo y alto cuando es mayor de 0.70%. Ollagnier et al. (1970) reportan el valor de 0,23% para la hoja 9.

El contenido de Ca en la hoja 17 se correlaciona significativamente con el número de inflorescencias femeninas ( $r=0,24$ ) y con el peso de fruto fresco ( $r=0,283$ ) (Nairy Sreedharan).

Síntomas de deficiencia no se han presentado en las plantaciones, ya que los suelos pobres aportan la cantidad necesaria para el desarrollo. En cultivos hidropónicos se reporta así: hojas anormales, cortas con limbos estrechos y raíces no salientes. En hojas más viejas, una parte del limbo es esférica con una división de la parte apical y necrótica (Ollagnier et al. 1970).

## Magnesio

La concentración óptima Mg en la hoja 17, según Corrado (1988) y Ollagnier et al. (1970), es 0,24%. Rosenquist, citado por Ng (1972), reporta el valor de 0,30 - 0,35%. Hagstron (1988) considera lo siguiente: cuando en la hoja el contenido de Mg es menor de 0,22% se considera muy bajo, ya que concentraciones menores de 0,2% en el tejido reducen el contenido de clorofila y por ende la producción es deficiente; entre 0,22 - 0,25% bajo, entre 0,25 - 0,27% suficiente, entre 0,27 - 0,30% óptimo y alto cuando el valor es mayor de 0,30%. Hobt y Keimmier (s.f) consideran el nivel crítico entre 0,30 y 0,35%.

En la Amazonia, Pacheco et al. (1985) encontraron que cuando el contenido de Mg en la hoja 17, en palmas de 8 - 10 años, es de 0,18%, aparecen los síntomas característicos de la deficiencia de este nutrimento. El contenido de Mg en la hoja 17 no se correlaciona con el número de inflorescencias femeninas ni con la producción de fruta fresca (Nair y Sreedharan 1972).



Figura 2. Síntomas de deficiencia intermedia de magnesio en palma adulta. Observe que los síntomas comienzan de las hojas más viejas hacia las más jóvenes.



Figura 3. Síntomas de deficiencia severa de magnesio en palma joven. Observe el color amarillo intenso de las hojas intermedias. Las hojas viejas se cortaron por estar secas.



Figura 4. Síntomas de deficiencia iniciales de magnesio en hojas bajas de palma adulta.



Figura 5. Síntomas de deficiencia intermedias de magnesio en hojas bajas de palma adulta.



Figura 6. Síntomas de deficiencia severas de magnesio en hojas bajas de palma adulta.

Lo que más caracteriza la deficiencia de magnesio es una coloración uniforme de amarillo anaranjado que aparece sobre los folíolos de las hojas viejas (Fig. 2 y 3). La parte del limbo que rodea la nervadura central de los folíolos permanece verde. La necrosis empieza por las extremidades de los folíolos, tomando un color rojo parduzco y luego adquiere un color pardo (Fig. 4, 5 y 6). La decoloración se presenta en las partes más expuestas al sol. El efecto de sombra es un signo característico de la deficiencia de Mg. Las decoloraciones aparecen más en la estación seca.

## Azufre

En la hoja 3, Morris et al. (1987) consideran normal el contenido de azufre mayor de 200 ppm. Ng (1987) reporta que el contenido de azufre se reduce con la edad y en la hoja 17, en palmas de 10 años, es entre 0,15 y 0,19%.

El efecto general de la deficiencia de azufre es la acumulación de aminoácidos y otros compuesto solubles de nitrógeno por la falta de síntesis de proteína (Malavolta et al. 1962).

A primera vista, los síntomas de deficiencia de azufre son parecidos a los de N. En suelos deficientes de azufre, los síntomas aparecen a los cuatro a cinco meses de vivero. Se presenta con leves bandas cloróticas intervenales de la hoja expandida más joven. La clorosis es menos pronunciada hacia la nervadura central. La intensidad de la clorosis se incrementa rápidamente en un mes. Por algún tiempo, muchas de las nervaduras principales permanecen verdes oscuras con decoloración hacia el ápice. Posteriormente, el limbo se vuelve amarillo pálido separado por venas verdes que se vuelven más claras. Aparecen lesiones necróticas en los sitios más avanzados. En la mayoría de los casos, las hojas más viejas retienen su color verde, a excepción de una ligera clorosis intervenal que indica deficiencias iniciales en el tejido (Tuneret al. 1983).

En palmas adultas, los síntomas de deficiencia de azufre también son similares a los de N. Se presenta una decoloración amarillenta debido a la inhibición de la formación de clorofila. Esto se presenta en las hojas jóvenes, ya que el transporte es restringido de las hojas viejas a las nuevas; las palmas son pequeñas y alargadas (Hobt y Keimmier s.f.).

## INTERACCIONES Y ANTAGONISMOS DE LOS NUTRIMENTOS SECUNDARIOS CON OTROS NUTRIMENTOS

Las principales bases en la hoja están interrelacionadas (Jacobs y Uvexkull 1961) y la sumatoria de ellas es igual al 2% de la materia seca de la hoja 17 ( $K + Ca + Mg = 2\%$ ).

Broscharto, citado por Jacobs y Uvexkull (1961), considera que existe la siguiente relación, entre ellos:

El contenido de K es entre 1,7-1,9% y corresponde al 67 - 70% de la suma de  $K + Ca + Mg$ . El contenido de

Ca es entre 0,55 - 0,65% y corresponde al 19 - 24% de la suma de  $K + Ca + Mg$ , y el contenido de Mg es entre 0,25 - 0,35% y corresponde al 10 - 13% de la suma de  $K + Ca + Mg$ .

Se puede presentar antagonismo del K con el Ca y el Mg, o sea una deficiencia de K se refleja en exceso de Ca o Mg y un exceso de K en una deficiencia de Ca o Mg. Prevot y Ollagnier (1957) han trazado las curvas de variación de Ca y de Mg en función de K en el diagnóstico foliar (Fig. 7).

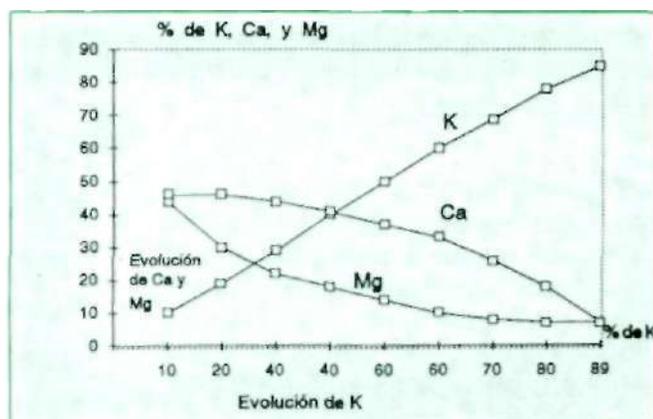


Figura 7. Variaciones del Magnesio y del Calcio en función del potasio (Prevot y Ollagnier 1957)

En cambio, Grimme, citado por Hobt y Keimmier (s.f.), dice que el antagonismo entre el K y Mg está confinado al rango de deficiencia de los nutrientes disponibles. Bajo estas condiciones, el incremento de uno agrava la deficiencia del otro; pero en suelos con alto contenido de Mg, aplicaciones altas de K reducen el contenido de Mg pero nunca por debajo de los niveles críticos.

Cuando se aplican fertilizantes potásicos, la absorción del K a los coloides ocurre a través del intercambio con Ca y Mg; en cambio, con aplicaciones de Mg ocurre intercambio con Ca y no con K. Este fenómeno probablemente es el causante del efecto malo del exceso de fertilizantes potásicos en la deficiencia de Mg, mientras que el fertilizante de Mg no induce a la deficiencia de K (Fallavier y Olivin 1988).

La adición de Ca por la aplicación del superfosfato simple, reduce el contenido de K (Pacheco et al. 1985).

En palmas jóvenes existe un sinergismo entre el Ca y el Mg; a medida que la palma envejece y hay menos absorción de Mg, se presenta antagonismo entre el Ca y Mg (Pacheco et al. 1985).

En suelos con alto contenido de Ca intercambiable (3-4 me/100 g) y deficientes en Cl, aplicaciones de KCl producen únicamente la asimilación de Cl en grandes cantidades y el incremento de Cl va acompañado con el aumento de uno o varios cationes (K, Ca, Mg) o la suma de ellos; en suelos con bajo contenido de Ca (< 3-4 me/100 g) tanto el K como el Cl son absorbidos y hay una depresión en la absorción de Ca y Mg (Taffin y Queneez 1980).

En suelos ácidos, la absorción Mg es reducida por el incremento de los iones H<sup>+</sup> y Al<sup>+++</sup>, y en suelos alcalinos, la absorción de este elemento es reducida por la alta concentración de Ca".

En la producción de trigo (Uves 1986) existe gran interdependencia entre el N y el azufre. Hay pocas respuestas de cada uno aplicados independientemente, pero hay incrementos significativos cuando se aplican ambos, y los tratamientos de azufre aumentan la absorción de K, Ca, Mg y aumenta la producción de caña de azúcar, soya y girasol.

En el cocotero, la corrección de la deficiencia de Cl puede inducir a deficiencias de azufre.

En palma de aceite, la fertilización con Sulfato de Amonio reduce la absorción de Mg, especialmente después de los 8 años cuando hay una tendencia a la disminución de la absorción de este elemento (Pacheco et al. 1985).

## FERTILIZACION

El orden de extracción de nutrimentos secundarios por la palma de aceite es S>Ca>Mg (Ng 1972).

El precio de los fertilizantes con nutrimentos secundarios, especialmente los del Mg, son muy altos. se mantendrán altos y *no* bajarán. El precio del aceite ha bajado en relación con el de los fertilizantes. Para mantener la productividad en la industria palmera es necesario una nutrición adecuada. Esto se logra con la reducción de los costos de los fertilizantes y la obtención de máxima producción por unidad del nutrimento aplicado.

El diagnóstico visual, el análisis foliar, los análisis de suelo y sus combinaciones son medios valiosos para el diagnóstico de deficiencias; sin embargo, la dosis de nutrimento que se debe aplicar tiene que ser determinada sobre la base de experimentos de campo con fertilizantes y hacer las correlaciones con los distintos métodos de diagnóstico. Además, es necesario realizar apreciaciones de la situación económica, teniendo en cuenta el estado financiero de la plantación y el precio de los fertilizantes.

El costo de la investigación y la recomendación es baja en comparación con el valor del programa de fertilización, y se recuperan con la economía del uso eficiente de fertilizantes.

*Palmas con  
elevado potencial  
de producción,  
cultivadas en  
suelos pobres,  
responden bien  
a los fertilizantes;  
por lo tanto,  
abonar es  
altamente rentable*

Para evaluar el beneficio de los fertilizantes es necesario compensar los gastos de adquisición de ellos, su aplicación, recolección, transporte y molienda de los frutos adicionales cosechados frente al valor del incremento en rendimiento.

Palmas con elevado potencial de producción, cultivadas en suelos pobres, responden bien a los fertilizantes; por lo tanto, abonar es altamente rentable. Entre más bajo sea el rendimiento más alto tiene que ser el aumento en producción para que resulte económico.

Una vez que las deficiencias de los elementos mayores se corrijan aparecerán las de los elementos secundarios y menores. Los nutrimentos son usados primero para el sostenimiento, luego para el desarrollo vegetal y, posteriormente, para la producción de fruto y aceite.

Para obtener el máximo efecto de los fertilizantes es necesario mejorar todas las prácticas agronómicas, incluyendo plateo, drenaje, control de malezas, plagas y enfermedades.

## LOCALIZACION DE LOS FERTILIZANTES

Los fertilizantes se deben localizar donde se encuentra la mayor superficie posible de raíces absorbentes. La mayoría de las raíces se encuentran entre los 1,20 m de la base del estipe y entre 0 - 0,30 m de profundidad. Pero las raíces cuaternarias, o sea las absorbentes, varían de acuerdo con la edad. En palmas de menos de 2,5 años, la mayoría de

las raíces se encuentran entre los 2,5 m de la base de la palma; entre los 4,5 - 8,5 años las raíces están igualmente repartidas entre 0 - 2,4 m de la base y en palmas adultas, 10,5 -17,5 años, la mayoría de las raíces están entre 2,4 y 4,8 m (Ng 1972).

La fertilización en palmas de 1 a 2 años debe ser al voleo no formando parches o en bandas aplicadas en un radio de 1,5 - 2,5 m, en palmas entre 3 - 5 años debe hacerse en un radio 1,5 - 4,0 m y en palmas adultas en las interlíneas (Ng 1972). Ng (1977) reporta que no hay diferencias significativas entre la aplicación al voleo en la interlínea y la aplicación en círculo en palmas de más de 4,5 años de edad.

Para evitar la compactación por el uso de maquinaria, se puede fertilizar en interlíneas intercaladas y cambiar de interlínea cada año. En suelos muy pobres, además, se debe fertilizar la cobertura (interlíneas) (Ng 1980).

La palma de aceite es un cultivo exigente en nutrimentos y hay un incremento exagerado de la absorción a partir del segundo año de trasplante. Para lograr altas producciones tempranas y una temprana iniciación de la producción es necesario una fertilización adecuada y temprana (Ng 1980).

## Calcio

De los elementos secundarios, el Ca es el menos deficiente, ya que generalmente el suelo contiene lo suficiente para el desarrollo y producción de la palma de aceite. En suelos muy fuertemente ácidos, bajos en Ca, se requiere este elemento como fertilizante y no como correctivo, ya que la palma es tolerante al aluminio intercambiable y a la acidez. Es más importante la aplicación de Ca para la cobertura que para la palma.

**Aplicación.** Para la iniciación de una plantación en suelos muy fuertemente ácidos, las enmiendas (Cal grícica o dolimítica) y la Roca fosfórica se deben aplicar al voleo; el 50% antes de arar y el 50% restante antes de la última rastrillada. Además de palmas de buen desarrollo, se obtiene una cobertura vigorosa, persistente y de alta fijación de nitrógeno.

Después de sembrada la plantación, las fuentes de

Ca se deben aplicar en su totalidad al voleo y en las interlíneas al inicio de la época de lluvias, ya que la aplicación de una alta dosis de Ca con una fuente de baja solubilidad es equivalente a una baja dosis de Ca con una fuente de alta solubilidad (Pacheco et al. 1985). En regiones de alta precipitación y en suelos de textura gruesa se recomienda fraccionarla en dos aplicaciones, al comienzo de las lluvias y 5 a 6 meses después en suelos húmedos.

**Dosis.** Aplicaciones de Ca de 0 - 2,78 kg/palma incrementa el contenido del nutrimento en la hoja 17 de 0,537 a 0,589% y la producción de racimos de 153 - 168 kg/palma (Hagstron 1988).

**Fuentes.** Para determinar la fuente es necesario considerar varios factores, tales como la disponibilidad en el mercado, el valor de la unidad del elemento aplicado (transporte, manipuleo, almacenaje y aplicación), pérdidas (volatilización y/o lixiviación) y facilidad de manipulación.

Las fuentes de Ca son: Cal agrícola ( $\text{CaCO}_3$ ), Cal apagada ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), Cal viva ( $\text{CaO}$ ), Cal dolomítica, Roca Fosfórica, Escorias Thomas y Sulfato de Calcio ( $\text{CaSO}_4$ ) (Tabla 8.).

*La palma de aceite es un cultivo exigente en nutrimentos y hay un incremento exagerado de la absorción a partir del segundo año de trasplante*

## Magnesio

Este nutrimento es menos absorbido que el Ca, pero presenta más deficiencias porque generalmente los suelos tropicales tienen menor cantidad de Mg que de Ca. Se presentan deficiencias serias de Mg especialmente en suelos ácidos con alto contenido de aluminio.

**Aplicación.** Para la aplicación de la Cal dolomítica se usa el mismo criterio del encalamiento, pero la aplicación de las otras fuentes debe ser fraccionada, 50% al inicio de las lluvias y el resto 5 - 6 meses después en suelos húmedos, aplicados al voleo en el círculo en plantaciones jóvenes y en todo el lote en plantaciones adultas. En suelos bajos de Mg se debe aplicar en todo el lote para la persistencia de la cobertura.

Al incrementar el contenido del Mg en el suelo de 0,06 me/meq se aumenta el contenido en el tejido de 0,06 a 0,22% y una respuesta del 80% (Hagstron 1988).

Tabla 8. Contenido de los elementos secundarios en los principales fertilizantes.

Fertilizante	CaO	MgO	S	Otros
Cal Agrícola	>50	<5	-	-
Cal viva	95	-	-	-
Cal apagada	70	-	-	-
Cal dolomítica	20-45	5-20	-	-
Sulfato de Calcio	35	-	15-18	-
Rocas Fosfóricas	30-40	0-1	0-1	18 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Escorias Thomas	30	2-5	-	14 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Carbonato de Magnesio	-	45	-	-
Oxido de Magnesio	-	90	-	-
Kieserita	-	27	22	-
Cloruro de Magnesio	-	20	-	40 Cl
Sulfato de Magnesio	-	16	13	-
Sulpomag	-	10-18	16-22	20-30 K <sub>2</sub> O
Fosfomag	-	16	-	10 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Nitromagnesia	-	7	15	20 N
Azufre	-	-	85-100	-
Sulfato de Amonio	-	-	24	18 N
Sulfato de Potasio	-	-	16-22	50 K <sub>2</sub> O
Sulfato de Hierro	-	-	12-19	20-33 Fe
Sulfato de Zinc	-	-	13-18	21-36 Zn
Sulfato de Magnesio	-	-	14-17	23-28 Mn
Sulfato de Cobre	-	-	12,8	26 Cu

Tabla 9. Enterasen de Potasio y Magnesio en el tejido para recomendar la fertilización (Hagstron 1988).

% Mg	<0,80	0,80-0,90	0,91-1,00	1,01-1,10	>1,10
>0,22	3,01 <sub>1</sub> 0,00 <sub>2</sub>	2,25 0,00	1,50 0,00	0,75 0,00	0,00 0,00
0,22-0,20	2,75 <sub>1</sub> 0,75 <sub>2</sub>	2,00 0,75	1,25 0,75	0,50 0,75	0,00 0,75
0,18-0,20	2,50 <sub>1</sub> 1,50 <sub>2</sub>	1,75 1,50	1,00 1,50	0,25 1,50	0,00 1,50
<0,18	2,25 <sub>1</sub> 2,25 <sub>2</sub>	1,50 2,25	0,75 2,25	0,00 2,25	0,00 2,25

<sub>1</sub> kg de KCl/palma

<sub>2</sub> kg de MgSO<sub>4</sub>/palma

En palma de 8 a 10 años aparecieron los síntomas característicos de la deficiencia de Mg cuando en la hoja 17 era de 0,18%. Aplicaciones de 0,240 kg/palma/año de MgO corrigieron este problema (Pacheco et al. 1985).

Existe una interacción del Mg con el K. Hagstron (1988) reportó las dosis de K y Mg según el contenido de ellos en la hoja (Tabla 9).

**Fuentes.** Las principales fuentes de Mg son: Cal dolomítica, Sulfato doble de Potasio y Magnesio, Carbonato de Magnesio, Sulfato de Magnesio y Oxido de Magnesio, Kieserita y Cloruro de Magnesio (Tabla 8). En suelos ácidos se debe usar Cal dolomítica porque la

acidez del suelo disuelve los carbonatos; en suelos neutros y alcalinos se debe usar Sulfato de Magnesio por su alta solubilidad. Una buena fuente es la Kieserita. La Cal dolomítica, además de suministrar Mg, abastece Ca y neutraliza el suelo. La Kieserita suministra Mg y azufre.

Suwandi y Martoyo (1989) no encontraron diferencias significativas entre el uso de Cal dolomítica y la Kieserita. Por ser la Kieserita más soluble se debe usar cuando se encuentran las deficiencias y la dolomita para restaurar la reserva del Mg en el suelo.

### Azufre

La absorción de azufre es el doble que la de P. El azufre es parte de las proteínas y es esencial en la formación de grasas; el uso de fertilizantes de alto grado que no tienen azufre puede inducir a la deficiencia de este elemento en suelos ácidos.

**Aplicación.** Las principales fuentes de azufre son de alta solubilidad, a excepción de la Flor de azufre que debe reaccionar en el suelo. Por lo anterior, la Flor de azufre debe aplicarse al voleo e incorporarse en el suelo. Las otras fuentes pueden aplicarse al voleo en el círculo en una plantación joven o en la interlínea en una plantación adulta, el 50% al inicio de las lluvias y el resto a 5-6 meses después en suelos húmedos.

**Dosis.** La deficiencia de azufre en vivero se corrige con aplicaciones de 5 a 10 g de azufre/palma y en 4 a 6 semanas se corrige o se usan 5 g de Sulfato de Amonio aplicado cada mes empezando el cuarto mes (Turner et al. 1983). En la palma adulta, aplicando 90 a 120 kg de azufre/ha como Sulfato de Amonio o Kieserita (Ng 1987). La aplicación de Azufre incrementó la longitud de la hoja del 196 al 355% en 2 a 4 años, respectivamente, y el círculo basal de 103 a 205% en el mismo tiempo (Hagstron 1988).

**Fuentes.** Las principales fuentes de azufre son: Flor de azufre, Sulfato de Amonio, Sulfato de Potasio, Sulpomag, Kieserita, Sulfato de Calcio, Nitromagnesio y Sulfato de Magnesio.

Las fuentes de sulfato son inmediatamente disponibles para la planta, pero se pueden lixiviar fácilmente. El azufre elemental tiene que oxidarse primero (semanas a meses), dependiendo de la granulometría del fertilizante, la incorporación de los fertilizantes, la actividad microbiana, las condiciones ambientales de humedad y oxígeno en el suelo. Pasa

de azufre elemental a ácido sulfúrico para hidrolizarse y dejar el anión SO libre para la absorción de la planta (Tadon 1987).

Tabla 10. Interacción entre los diferentes elementos del suelo con los del tejido (Hartley 1977).

Elemento en el suelo	% de Elementos Secundarios de la hoja 17		
	Ca	Mg	S
N	-	-	-
P	+	0	?
K	-	-	?
Ca	+	0	?
Mg	-	+	?
S	?	?	+

- Descanso  
+ Incremento  
0 sin efecto

El azufre debe ser finamente molido (pasar por un tamiz de malla 16), aplicarlo al voleo e incorporarlo al suelo. Para neutralizar el efecto acidificante de una unidad de azufre es necesario aplicar 3,125 unidades de CaCO<sub>3</sub> y para una unidad de Sulfato de Amonio se necesita de 1,12 unidades de CaCO<sub>3</sub> (Platon e Irish 1985).

Hartley (1917) resume el comportamiento o interacción de bs diferentes elementos en el suelo con el contenido de elementos secundarios en la hoja (Tabla 10).

### FERTILIZACION EN VIVEROS

De varios trabajos realizados por el ICA (Jiménez 1985; y Owen et al. 1978) se ha llegado a una primera aproximación en el manejo de fertilizantes de los elementos secundarios.

El suelo para llenar las bolsas de previvero y vivero debe ser fértil; si no se consigue suelo fértil se deben aplicar bs abonos necesarios para corregir las deficiencias. Es preferible traer suelo de otra parte y no usar el horizonte (capa superficial) de la plantación.

La Tabla 11 muestra los niveles críticos y la cantidad de nutrimentos requeridos para conseguirlos en vivero. En suelos de baja fertilidad es más fácil aplicar las dosis altas de enmiendas y fertilizantes al suelo e incorporarlos para posteriormente llenar las bolsas.

Despues de aplicar la fertilización correcta y si aparecen deficiencias nutricionales, éstas se corrigen con la aplicación foliar del fertilizante requerido. La concentración de la solución no debe ser mayor del 5%.

Los resultados experimentales de fertilización con elementos secundarios son muy pocos. Se han

realizado experimentos únicamente con Mg en el C.I. "La Libertad" en Villavicencio, en suelos de la clase III en, el Piedemonte Llanero y en el C.I. "El Mira" en Tumaco (Nar.), en suelos aluviales en la Llanura Pacífica.

En muchas de las plantaciones usan los niveles críticos de los nutrimentos en los tejidos para las recomendaciones y muy pocos tienen una investigación organizada y sistemática para calibrar sus niveles críticos con la fertilización al suelo y la producción.

Tabla 11. Niveles críticos en el suelo para la aplicación de Calcio y Magnesio en vivero (Owen et al. 1978).

% Sat	t/ha <sub>v</sub> Cal	me/100 g Mg	kg/ha <sub>v</sub> MgO
>85	3,50-4,00	< 0,30	120 - 180
75-85	3,00-3,49	0,30-0,60	60 - 119
65-74	2,25-2,99	> ,60	0 - 59
50-64	1,50-2,24		
35-50	0,75-1,49		
10-34	0,25-0,74		

" Aplicación al voleo o al suelo, el 50% antes de arar y el 50% después de la rastrillada. Si se usa cal dolomítica se requiere menos fertilizante magnésico.

Para suelos de la clase III (Prieto y Owen 1989), cuyo análisis de caracterización es:

Profundidad cm	Textura	pH	% — ppm —			
			M.O.	Sat. Al	P BII	B
0-20	FA	4,4	4,9	73,4	7	0,14
20-40	FA	4,5	3,8	81,9	3	0,14

Profundidad cm	me/100 g					
	Al	Ca	Mg	K	Na	CIC
0-20	4,36	0,96	0,59	0,06	0,06	5,94
20-40	4,30	0,46	0,43	0,03	0,03	5,26

y para suelos aluviales cuyo análisis de caracterización es:

Profundidad cm	Textura	pH	% — ppm —		
			M.O.	Sat. Al	P BII
0-20	ArA	5,5	9,7	1,34	19
20-40	ArA	5,5	2,5	0,98	7

Profundidad cm	me/100 g					
	Al	Ca	Mg	K	Na	CIC
0-20	0,10	5,93	1,40	0,23	0,19	7,45
20-40	0,10	6,40	3,10	0,28	0,35	10,23

Según la edad se recomienda la fertilización que se presenta en la Tabla 12.

Tabla 12. Recomendaciones de fertilización para la palma de aceite en suelos de la clase III en el Piedemonte Llanero y en suelos aluviales en la Llanura Pacífica, según su edad.

Años	Mg g/palma/años	
	Llanos Orientales*	Costa Pacífica**
1	150	35
2	225	60
3	300	90
4	450	145
5	600	180
6	750	240
7	750	240

\* Prieto y Owen 1989

\*\* Jiménez 1985

Por la variabilidad de suelos, climas y prácticas agronómicas se requieren diferentes programas de fertilización para el óptimo uso de ello. Las recomendaciones de fertilización deben referirse a condiciones específicas y nunca se podría justificar una generalización. Por lo tanto, es indispensable instalar experimentos de fertilidad que permitan analizar e interpretar los resultados del diagnóstico foliar para hacer las recomendaciones precisas.

Esta investigación la debe realizar una persona idónea, ya que implica grandes esfuerzos en tiempo (más de tres años), físicas (parcelas de 30 o más palmas), humanos (mantenimiento, evaluación y cosecha continua) y financieros (todo lo anterior requiere presupuesto). Si se diseña mal, no se obtiene lo esperado y se pierde todo el esfuerzo anterior.

## CONCLUSIONES

- La palma de aceite incrementa la extracción de nutrimentos secundarios después del primer año de transplantada en sitio definitivo y la renovación es S > Ca > Mg.

- Existen varios niveles críticos para el contenido de los nutrimentos en la hoja dependiendo del investigador y el método de análisis usado. El autor prefiere los siguientes:

Calcio %	Magnesio %	Azufre <sup>0</sup> /»	
<0,40	0,225	-	Deficiente
0,40-0,50	0,225-0,250	0,20-0,23	Bajo
0,50-0,60	0,250-0,275	-	Suficiente
0,60-0,70	0,275-0,300	-	Óptimo
>0,70	>0,300	-	Alto

- Existen interacciones de Ca con Mg K, N, P y Cl. Además de la interacción del Mg con el Ca, hay con el K y el N. El azufre interactúa con el N, P y K.

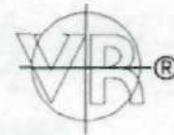
- Los nutrimentos secundarios se deben aplicar según el contenido de ellos en el suelo y en la hoja 17. Se tienen recomendaciones para vivero y para el sitio definitivo, y por referirse a condiciones específicas es difícil hacer una generalización.

- El contenido de Ca es desfavorable en las subregiones Planicies Aluvial de Puerto Wilches, Terrazas Media y Alta; de los Llanos Orientales el contenido de Mg es desfavorable para la subregión Planicies Aluvial de Puerto Wilches y la región de los Llanos Orientales, y desfavorable para el azufre en las subregiones Zona Bananera y Planicies Aluvial del río Ariguaní y las regiones Valles Interandinos y Llanos Orientales.

## BIBLIOGRAFIA

- ANONIMO. 1964. Sulfur as a plant nutrient in the Southern United States Agriculture Research Service, U.S. Department of Agricultura, Washington. D.C. Technical Bulletin 1207. 4p.
- BLAIR, G. 1979. Sulfur in the tropics, IFDC. Muscle Shoals. 69p.
- CORRADO, F. 1988. La nutrición y fertilización de la palma de aceite en latinoamérica. En: Mesa Latinomearicana Palma Aceitera. 5<sup>ta</sup>. Santo Domingo de los Colorados. Ecuador
- CHAN, K.W.; WATSON, J.; CLIM, K. 1980 Use of soil palm waste material for increased production In: Proceedings Conference of Soil Science and Agricultural Developmet in Malaysia. Malaysia Society of Soil Science. Kuala Lumpur. p. 213-241.
- FALLAVIER, P.; OLIVIN, J. 1988 Experimental study Potassium and Magnesium dynamics. Oleagineux (Francia) v. 43 no 3,p.105
- FERRAND, M. 1960 Informe al Gobierno de Colombia sobre plantas oleaginosas y especialmente sobre la palma de aceite. FAO. Roma. no.1257
- HAGSTRON, GR. 1988 La fertilización de la palma de aceite con nutrimentos secundarios En: Mesa Latinoamericana Palma Aceitera 5". Santo Domingo de los Colorados. Ecuador.
- HARTLEY, C.W.S. 1977. The oil palm. Longmans. London. 958p.
- HOBT, H.; KEIMMIER, G. s.f. Magnesium and sulphur for better crops, sustained high yield and profit. Kaliund Salz. AG, Germany. 64p.
- JACOB, A.; UVEXKULL, H.von. 1961. Fertilización, nutrición y abonado de los cultivos tropicales y subtropicales International Potash Institute, Beme 626p
- JIMENEZ, O.D. 1985 Informe Anual del Programa Nacional de Oleaginosas Perennes. ICA. CRI "El Mira". Tumaco (Nar). 21p.
- MALAVOLTA, E. HAGG, H.P.; MELLO, F.A.F.; BRASIL, M.O.C. 1962. On the nutrition of some tropical crops Internaciona Potash Institute. Berne. 155 p.
- MARSCHNER, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants Academic Press, New York. 549 p.
- MORRIS, R.J.: 1986. The importance of sulphur in agriculture; An over view. Sulphur in Agricultural Soils. Proceedings of the Internaciona Symposium. The Bangladesh Agricultural Research Council and the Sulphur.Institute.1 7p.
- NAIDU R.; SINGH, U.1987. Sulphur fertilizer requenrements of Papua New Guinea and South Pacific. Proceedings in developing countries of Asia and the South Pacific. FADINAP and the Sulphur Institute, Bangkok, p.57 - 66.

- NAIR, M.C.; SREEDHARAN, C. 1972. Nutritional studies on oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). Relation between nutrient contents in tissue with yield and attributes. *Oleagineux* (Francia) v.38 no.10, p.4
- NG, S.K. 1972. The oil palm, its culture, manuring and utilization. International Potash Institute, Berne. 145p.
- MORRIS, R.J.; 1977. Review of oil palm nutrition and manuring. Scope for greater economy in fertilizer usage. *Oleagineux* (Francia) v. 32 no. 5, p 197-209.
- . 1980. Oil palm development in Malaysia. In: Proceedings of the First Malaysia Oil Palm Conference. PORIM, Kuala Lumpur.
- . 1987. Sulphur status of soils and requerimientos in Malaysia. Proceeding in developing countries of Asia and the South Pacific. FADINAP and the Sulphur Institute, Bangkok. p.38-41.
- OLIVIN, J. 1968. Etude pour la localisation d'un bloc industriel de palmiers à l'huile. *Oleagineux* (Francia) v. 23 nos.8-9, p.49-54
- OLLAGNIER, M.; OCHS, R. MARTIN, G. 1970. El abonamiento de la palma de aceite en el mundo. *Fertilite* (Francia) v. 36, p. 3-61.
- OWEN B., E.J.; SANCHEZ S., L.F.; HINCAPIE, M.A. 1978. Fertilización de la palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) en vivero en los Llanos Orientales.
- MORRIS, R.J. 1990. Estado actual de las principales características físico-químico de los suelos y condiciones hídricas. En: Diagnóstico tecnológico del cultivo de palma de aceite en Colombia. Palmas. (Colombia) v. 11 no.3, p. 34 - 43.
- PACHECO, A.R.; TAILLIEZ, B.J.; ROCHA DE SOUZA, R.L.; DE LIMA, E.J. 1985. Mineral deficiencies of oil palm (*E. guineensis* Jacq.) in the Belem (Para) región (Brasil). *Oleagineux* (Francia) v. 40 no. 6, p.295 - 309.
- PARK, H. 1988. Physiological role of sulphur in plants. In: Proceedings of International Symposium on Sulphur for Korean Agriculture. Korean Society of Soil Science and Fertilizers and the Sulphur Institute, Seoul. p.77-93.
- PLATON, J.S. IRISH, R. 1985. El cuarto nutriente principal. The Sulphur Institute, Washington D.C. 32p.
- PREVOT; OLLAGNIER, M. 1957 Método de utilización del diagnostico foliar. *Fertilite* (Francia) v.2, p. 3-12.
- PRIETO CH., J.E.; OWEN B., E.J. 1989. Respuesta de la palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) a la fertilización de N, P, K, Mg y B en suelos de la clase III de los Llanos Orientales. ICA, C.I. "La Libertad", 10p. (Mimeografiado).
- SPRAGUE, H. 1984. Why do plants starve. In: H. Sprague. (Ed.) Hunger signs in crops. David McKay, New York. p. 24.
- SOWANDI; MARTOYO, K. 1989. Dolomite fertilizer as substitute of Kieserita on oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in Indonesia. International Palm Oil Development Conference. PORIM, Kuala Lumpur.
- TAFFIN, G.; QUENCEZ, P. 1980. An aspect of anionic nutrition in the oil palm and coconut. Problems of Chlorine. *Oleagineux* (Francia) v. 35 no. 12, p. 539 - 546
- TANDON, H.L.S. 1987. Sulphur containing fertilizers. Proceedings in developing countries of Asia and the South Pacific. FADINAP and the Sulphur Institute, Bangkok. p.95 -100.
- TINKER, P.B.H.; SMILDE, K.W. 1963. Dry matter production content of plantation oil palms in Nigeria. *Plant and Soil* (Holanda) v. 19 no.3, p.350-363.
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. 1975. Soil fertility and fertilizers. Mac Millan Publishing, Co, New York. 694 p.
- TURNER, P.D.; SOEKYOYO, P.; PANI, H.A. 1983. Sulphur deficiency in an oil palm nursery in North Sumatra, Indonesia. *Oleagineux* (Francia) v. 38 no.1, p.8-10.
- UVEXKULL, H.F. von 1986. Sulphur interaction with other plant nutrients. Sulphur in Agricultural Soils. P. IS. BARC-SI Dhaka. p. 212 - 242.
- WERKHOVEN, J. 1966. Fertilización de la palma de aceite. Boletín Verde 18. Verlagsgesellschaft für Ackerbau, Hannover. 60p.



## ingeniería & mercadeo

### DIVISION SISTEMAS TERMICOS

- Calderas combinadas para quemar residuos del proceso de la palma africana
- Hornos acuatubulares acoplables a calderas pirotubulares
- Ciclones para atrapar partículas volantes en los gases de chimenea
- Intercambiadores de calor
- Proyectos llave en mano

### DIVISION AUTOMATIZACION

- Autómatas programables
- Automatización de procesos (autoclaves, digestores, tanques, etc)
- Controladores de proceso (temperatura, presión, flujo, nivel)
- Variadores electrónicos de velocidad
- Arrancadores progresivos para motores
- Monitoreo y adquisición de datos por computador
- Cofres metálicos protección IP 54
- Proyectos eléctricos llave en mano (tableros, centros de control de motores, etc)
- Cursos para manejo de P.L.C.

**Representantes de Telemecanique,  
Desin, Chromalox, NAO.**

Trans. 398 No. 18 - 46 Tel: 2447702 2443461 Fax: 2688601  
Bogotá Colombia