

**CARACTERIZACIÓN DE LA FERTILIDAD DE UN SUELO BAJO CULTIVO DE  
PALMA DE ACEITE (*Elaeis guinnensis Jacq*) EN UNA ZONA PRODUCTIVA  
DEL MUNICIPIO DE TUMACO – NARIÑO**

**FREDDY OSWALDO GUANCHA ERIRA  
WEIMAR OBANDO GÓMEZ**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS  
PROGRAMA INGENIERÍA AGRÓNOMICA  
SAN JUAN DE PASTO  
2007**

**CARACTERIZACIÓN DE LA FERTILIDAD DE UN SUELO BAJO CULTIVO DE  
PALMA DE ACEITE (*Elaeis guinnensis Jacq*) EN UNA ZONA PRODUCTIVA  
DEL MUNICIPIO DE TUMACO – NARIÑO**

**FREDDY OSWALDO GUANCHA ERIRA  
WEIMAR OBANDO GÓMEZ**

**Trabajo presentado como requisito para optar al título de Ingeniero  
Agrónomo**

**Presidente  
JAVIER GARCIA ALZATE I.A. M.Sc.**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS  
PROGRAMA INGENIERÍA AGRÓNOMICA  
SAN JUAN DE PASTO  
2007**

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

San Juan de Pasto, Abril de 2007

“Las conclusiones aportadas en la tesis de grado son responsabilidad exclusiva de sus autores”

“Artículo 1 del acuerdo No 324 de octubre 11 de 1966 emanado del honorable Concejo Directivo de la Universidad de Nariño”

## *DEDICATORIA*

*A DIOS, POR SER LA FUERZA DE MI VIDA E INSPIRARME PARA CULMINAR ESTE TRABAJO.*

*A MIS PADRES, OLGA Y SEGUNDO, POR SU APOYO INCONDICIONAL, SU AMOR Y TODAS LAS ENSEÑANZAS QUE ME HAN DADO.*

*A MIS HERMANAS SANDRA Y YURANY, POR ESTAR SIEMPRE CON MIGO Y APOYARME EN EL CUMPLIMIENTO DE MIS METAS*

*A MI NOVIA POR ACOMPAÑARME Y APOYARME DURANTE TODO ESTE TIEMPO.*

*Y A TODOS MIS FAMILIARES Y AMIGOS, QUIENES DE UNA U OTRA MANERA ME COLABORARON PARA CULMINAR ESTA ETAPA DE MI VIDA.*

*FREDY*

*DEDICATORIA*

*A JEHOVÁ QUE DA LA SABIDURÍA Y DE SU BOCA  
VIENE EL CONOCIMIENTO Y LA INTELIGENCIA*

*A MIS PADRES ORFA Y RAÚL POR RESPALDARME EN TODO  
MOMENTO E INCONDICIONALMENTE.*

*A ROCÍO Y A MI HIJO ALEX QUE SON LA INSPIRACIÓN DE MI  
VIDA.*

*A MIS HERMANAS PAOLA Y DIANA*

*A MIS TÍAS FLOR Y FABIOLA,*

*A MIS AMIGOS*

*WEIMAR*

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos.

A la Universidad de Nariño.

Al programa de Ingeniería Agronómica

A los Profesores Javier García Alzate, MSc y Hugo Ruiz Erazo, MSc, quienes colaboraron y orientaron con sus valiosos aportes en el desarrollo de esta investigación.

A los jurados, profesor Hernando Criollo Escobar, MSc, al profesor Benjamín Sañudo Sotelo y al profesor Carlos Betancourt García, MSc, por la aceptación de este trabajo y por sus aportes.

A la Empresa PALMAS DE TUMACO S.A.

Al Gerente Doctor Carlos Beltrán Roldan Gerente General de la Empresa PALMAS DE TUMACO S.A. al Ingeniero Álvaro Martines Córdoba superintendente de la plantación y a todo el personal que hace parte del programa Agronómico de esta Empresa.

## **TABLA DE CONTENIDO**

<b>DESCRIPCION</b>	<b>Pag.</b>
<b>INTRODUCCION</b>	<b>21</b>
<b>1. MARCO TEORICO</b>	<b>23</b>
<b>1.1 LA IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE PALMA AFRICANA EN COLOMBIA</b>	<b>23</b>
<b>1.2 LA COSTA PACIFICA DE COLOMBIA EN EL CULTIVO DE PALMA AFRICANA</b>	<b>24</b>
<b>1.2.1 Los suelos aluviales de la región pacífica palmicultora</b>	<b>25</b>
1.2.1.1 Aluviales recientes del Río Mira	26
1.2.1.2 Colinas onduladas	27
1.2.1.3 Colinas quebradas	28
<b>1.3 EDAFOCLIMATOLOGÍA DEL CULTIVO</b>	<b>28</b>
<b>1.3.1 Requerimientos nutricionales de la Palma de aceite</b>	<b>28</b>
<b>1.4 ANÁLISIS DE SUELO</b>	<b>32</b>
<b>1.4.1 Análisis de suelos</b>	<b>32</b>
1.4.1.1 La Toma de Muestras	33
<b>1.5 ANALISIS MULTIVARIADO</b>	<b>33</b>
<b>1.5.1 Análisis de componentes principales (ACP)</b>	<b>34</b>
<b>1.5.2 Análisis de agrupamiento (cluster)</b>	<b>34</b>



<b>2.</b>	<b>DISEÑO METODOLÓGICO</b>	<b>35</b>
<b>2.1</b>	<b>LOCALIZACIÓN</b>	<b>35</b>
<b>2.2</b>	<b>CLIMA</b>	<b>35</b>
<b>2.3</b>	<b>ÁREA DE ESTUDIO</b>	<b>35</b>
<b>2.4</b>	<b>MUESTREOS EDAFICOS</b>	<b>36</b>
<b>2.4.1</b>	<b>Muestreo edáfico</b>	<b>36</b>
<b>2.5</b>	<b>VARIABLES A EVALUAR</b>	<b>38</b>
<b>2.5.1</b>	<b>Caracterización según su de fertilidad</b>	<b>38</b>
<b>2.6</b>	<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO</b>	<b>39</b>
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSION</b>	<b>40</b>
<b>3.1</b>	<b>CARACTERIZACION DEL SUELO SEGÚN SU FERTILIDAD</b>	<b>40</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Conformación de los factores que mayor variabilidad aportan</b>	<b>40</b>
3.1.1.1	Factor uno	40
3.1.1.2	Factor dos	40
3.1.1.3	Factor Tres	41
3.1.1.4	Factor cuatro	41
3.1.1.5	Factor cinco	41
<b>3.1.2</b>	<b>Descripción de las principales variables evaluadas del factor uno</b>	<b>41</b>
3.1.2.1	Nitrógeno del suelo y Materia Orgánica	43
3.1.2.2	Capacidad de intercambio catiónico del suelo	46
3.1.2.3	Densidad Aparente	48

3.1.2.4	Arenas	509
3.1.2.5	Aluminio del suelo	52
<b>3.2</b>	<b>CORRELACION ENTRE LAS VARIABLES ANALIZADAS</b>	<b>55</b>
<b>3.2</b>	<b>CLASIFICACIÓN JERÁRQUICA DE LOS LOTES EN SIETE CLASES</b>	<b>57</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Clase uno</b>	<b>57</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Clase dos</b>	<b>60</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Clase tres</b>	<b>63</b>
<b>3.3.4</b>	<b>Clase cuatro</b>	<b>64</b>
<b>3.3.5</b>	<b>Clase cinco</b>	<b>65</b>
<b>3.3.6</b>	<b>Clase seis</b>	<b>66</b>
<b>3.3.7</b>	<b>Clase siete</b>	<b>67</b>
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>69</b>
<b>5.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>70</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>71</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>76</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>DESCRIPCION</b>	<b>Pag.</b>
Figura 1. Representación de las variables en e plano Conformado por los componentes 1 y 2.	42
Figura 2. Clasificación jerárquica de los lotes en siete clases	58

## LISTA DE ANEXOS

<b>DESCRIPCION</b>	<b>Pag.</b>
Anexo A. Tabla de resultados	76
Anexo B. Histograma de los valores propios correspondientes a la variabilidad aplicada para cada uno de los factores formados.	79
Anexo C. Coordenadas de las variables sobre los ejes 1 a 5 variables activas.	80
anexo D. Descripción de las 31 variables con sus valores máximos, mínimos y promedio general	81
Anexo E. Correlaciones entre las variables analizadas para 120 muestras de suelo, foliar, edad y producción.	82
Anexo F. Descripción y comparación de las siete clases conformadas en el dendograma.	83
Anexo G. Productividad anual media de racimos frescos en Colombia según el nivel de tecnología aplicado al cultivo de palma africana.	85
Anexo H. Participación por zona y por altura del área de estudio.	86
Anexo I. Deficiencias y antagonismos entre macro y microelementos.	87
Anexo J. Niveles más altos de Materia orgánica y nitrógeno del suelo registrado en el área de estudio y discriminado por la ubicación en la pendiente de las muestras de suelo. Palmas de Tumaco.	88

Anexo K. Niveles medios de Materia orgánica y nitrógeno del suelo registrado en el área de estudio y discriminado por la ubicación en la pendiente de las muestras de suelo. Palmas de Tumaco.	89
Anexo L. Niveles bajos de Materia orgánica y nitrógeno del suelo registrado en el área de estudio y discriminado por la ubicación en la pendiente de las muestras de suelo. Palmas de Tumaco.	91

## LISTA DE CUADROS

<b>DESCRIPCION</b>	<b>Pag.</b>
Cuadro 1. Contenidos nutricionales promedio favorables para el cultivo de la palma de aceite.	25
cuadro 2. Consumo inmovilización y reciclado de nutrientes en una hectárea de palma africana.	29
Cuadro 3. Niveles nutricionales del suelo para el desarrollo del cultivo de palma aceitera.	30
Cuadro 4. Descripción de las cuatro zonas experimentales por topografía.	36
Cuadro 5. División del área a estudiar y cantidad de muestras a tomar por zona.	37
Cuadro 6. Distribución uniforme de las muestras a tomar por zona y de acuerdo a la pendiente.	38
Cuadro 7. Métodos de extracción empleado en el laboratorio para la determinación de los nutrientes del suelo y algunas propiedades físicas.	39
Cuadro 8. Componentes que mayor variación aportan al estudio de investigación.	40
Cuadro 9. Resultados de la distribución de CIC de acuerdo a la zona de pendiente de presente estudio.	46
Cuadro 10. Resultados de la distribución de Densidad aparente acuerdo a la zona de pendiente del presente estudio.	49
Cuadro 11. Resultados de la distribución de Arenas de acuerdo a la zona de pendiente de presente estudio.	50
Cuadro 12. Resultados de la distribución de Aluminio y pH de acuerdo a la zona de pendiente de presente estudio.	52

## GLOSARIO

**ACIDEZ:** Es la cantidad del potencial de hidrogeniones presentes en el suelo.

**ALUVIAL:** Suelo de origen fluvial de materiales sedimentarios de buena profundidad, aparecen en las riveras de los ríos.

**ANÁLISIS FOLIAR:** Es el análisis químico de las hojas y otros órganos vegetales para estimar el estado nutricional y el requerimiento de sustancias nutritivas por parte de una planta.

**ANÁLISIS MULTIVARIADO:** Es una rama de la estadística relacionada con el resumen, representación e interpretación de datos tomados de varias variables o características, las cuales han sido registradas sobre un mismo individuo, unidad experimental, etc. Por lo tanto, los métodos estadísticos multivariados comprenden aquella clase de técnicas tanto descriptivas como inferenciales que han sido desarrolladas para manejar situaciones donde se considera un conjunto de variables, ya sean como predictorias o como mediciones producto de la ejecución de un experimento.

**ANTAGONISMO:** Interacción entre los nutrientes en el suelo que causa la pérdida de actividad de uno de ellos por la alta presencia de otro u otros.

**CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO:** Es el intercambio de cationes, comprende los procesos reversibles por los cuales las partículas sólidas del suelo adsorben iones de la fase acuosa y al mismo tiempo des-adsorben cantidades equivalentes de otros cationes y se establece un equilibrio entre ambas fases.

**DENSIDAD APARENTE:** Es la relación existente entre el peso y el volumen de un suelo seco a la estufa (105-110°C) incluyendo su arreglo estructural y el volumen de agua desalojado por el.

**FERTILIDAD:** es la capacidad que tiene un suelo para mantener una cubierta vegetal.

**FILOTAXIA:** Ordenación de las hojas o primordios foliares alrededor del estípite facilitando la identificación de la hoja 17 en palmas adultas o la hoja 9 en palmas jóvenes en las cuales se determina el estado nutricional de la planta.

**MUESTRA DE SUELO:** Es la cantidad de suelo (aproximadamente un kilogramo), conformada por submuestras extraídas de diferentes sitios de un terreno del cual se desea saber cual es su contenido nutricional.

**PALMA ACEITERA:** planta perenne de clima calido de cuyo fruto se extrae aceite industrial.

**PENDIENTE:** Es el grado de inclinación de un terreno con respecto al eje horizontal.

**RAQUIS O TUSA:** son estructuras lineales que forman el eje de una inflorescencia en forma de espiga.

**SINERGISMO:** Actividad combinada de los elementos nutricionales del suelo de tal manera que el efecto producido en conjunto es mayor que la suma de efectos provocados individualmente por los mismos elementos.

**SUELO:** es el material suelto no consolidado que resulta inicialmente de la alteración meteorológica o de la disgregación física de las rocas.



## RESUMEN

La presente investigación se realizó en la empresa Palmas de Tumaco S.A. ubicada en el margen izquierdo del Río Mira, Vereda Imbilí a 40 kilómetros del Municipio de Tumaco, occidente del Departamento de Nariño. Los suelos de la región son latosoles, que se caracterizaron por presentar alta acidez (pH menor de 5.0), altos contenidos de hierro y aluminio, contenidos variables de materia orgánica (2.8-12%) y bajos contenidos nutricionales.

Dado que la zona bajo estudio se caracteriza por presentar topografía heterogénea, en el estudio se propuso realizar la caracterización de la fertilidad edáfica en una zona productiva bajo cultivo de palma africana que presenta diferentes grados de pendiente y de esta forma, aportar al conocimiento de los suelos para la implementación de programas de fertilización ajustados a esta condición de suelo.

La caracterización edáfica se realizó mediante muestreo de suelos, en el periodo comprendido entre enero y junio de 2002, teniendo en cuenta tres tipos de pendiente parte baja (30.m.s.n.m), media (40 – 60 m.s.n.m.) y parte alta 75 (m.s.n.m); tomándose 120 muestras de suelo, en cuatro zonas representativas de la plantación, estableciendo 31 variables, que incluyeron la pendiente y los nutrientes del suelo (mayores, menores y micronutrientes).

Las 31 variables se sometieron a un análisis multivariado de componentes principales en el programa Spad 3.5 que permitió obtener correlaciones entre las variables, agrupamiento de los individuos en clases y sus características. Los resultados del análisis de componentes principales de las 31 variables evaluadas del componente químico de los suelos estudiados, mostraron la conformación de cinco factores que explicaron el 51.55% de la variación total.

Así mismo, se pudo constatar que de acuerdo a los resultados del análisis multivariado se conformaron siete clases o grupos de suelos de las 120 muestras edáficas, los cuales mostraron diferencias respecto a la ubicación en la pendiente; encontrándose que en la clase uno se agruparon 35 muestras caracterizadas por presentar valores por debajo de los requerimientos del cultivo de variables como el calcio (0.58 ppm) y cobre (0.37 ppm) , la clase dos agrupó a 13 muestras de suelo, presentando deficiencias en el contenido de calcio (0.58 ppm); la clase tres agrupó 16 muestras de suelo mostrando deficiencias en el contenido de magnesio (0.22 ppm); la clase cuatro agrupó tres muestras de suelo con contenidos nutricionales adecuados para el desarrollo y crecimiento de la palma, la clase cinco agrupó a 24 muestras destacándose por exhibir deficiencias en los contenidos de potasio (1.03 ppm), la clase seis agrupó a 15 muestras presentando deficiencias en el contenido de boro (14.8 ppm) y la clase siete se caracterizó por

presentar niveles nutricionales por encima del promedio general, sin embargo; el boro (10.11 ppm) registró valores por debajo de los requerimientos nutricionales del cultivo.

Respecto a la ubicación del cultivo en la pendiente del terreno se destaca que los nutrientes edáficos como la materia orgánica (5.1-12%) y el nitrógeno (0.23-0.47%) registraron los valores más altos en la parte alta y media del terreno. A nivel general Nutrientes como Calcio, Potasio y Magnesio presentaron niveles bajos en este sector. Los microelementos como el Cobre, el Zinc y el Boro fueron deficientes en el 70% del área bajo estudio.

## ABSTRACT

This investigation was carried out at Palmas de Tumaco company, located next to the Rio Mira river in Imbilí town which is to 40km from the municipality of Tumaco west of the department of Nariño. The soils of the region are latosoles that were characterized for presenting high acidity (pH minor of 5.0), high content of iron and aluminum, content variables of organic matter (2.8-12%) and low nutritional contents.

The studied zone is characterized by an heterogeneous topographic presentation, and the purpose of the study is to carry out the characterization of the edafic fertility in a productive African palm zone which shows different grades of slopes, and in this way to gain knowledge about the soil for the implementation of programs of fertilization that are fitted to the soil condition.

The characterization of soil was done by means of soil sampling between January and June 2002, having in mind three types of sloping: low part (30.m.s.n.m), medium part (40-60 m.a.s.l.) and high part (75 m.a.s.l.). After of to take 120 samples of soil in four representative zones of the plantation, 31 variables were established, that included the slope and the nutrients of the soil (major, minor and micronutrients).

The 31 variables were submitted to a multivariable analysis of main components in the Spad 3.5 program that allowed for a correlation between the variables, the individual grouping in classes and their characteristics. The results of the analysis of the main components of the 31 evaluated variables of the chemical component of the studied soil showed the conformation of five factors that explained the 51.55% of the total variation.

In the same way, be could prove that according to the multivaried analyzed results, seven classes or groups of soil from the 120 of soil samples were conformed, which showed some differences with respect to the location of the slope. It was found that in class number one 35 samples were gathered that were characterized for presenting values under the requirements of the culturing of variables such as calcium (0.58 ppm) and copper (0.37 ppm). The number two class gathered 13 samples of soil, showing deficiency in magnesium (0.22 ppm) content. The number four class gathered three samples of soil with nutritional content suitable for the development and growing of the palm. The number five class gathered 24 samples highlighting the deficiency of potassium (1.03 ppm) content. The number six class gathered 15 samples showing deficiencies in the borax content (114.8 ppm), and the number seven class was characterized for presenting nutritional levels over the general average. However the borax registered values under the nutritional requirements of the cultivation. With respect to the location of the cultivation on the

slope of the soil it is highlighted that the of soil nutrients like the organic matter (5.1-12%) and the nitrogen (0.23-0.47%) registered the highest values in the high and medium places of the ground.

In general the nutrients such as calcium, Potassium, and magnesium showed low levels in this sector. The copper, zinc, and borax microelements were deficient in 70% of the area studied.

## INTRODUCCION

En Colombia el cultivo de la palma de aceite (*Elaeis guineensis Jacq .*) cuenta con suelos que presentan condiciones químicas y físicas favorables para su desarrollo.

El país cuenta con más de dos millones de hectáreas para la siembra de palma, localizadas sobre los 500 msnm, en planicies aluviales con pendientes inferiores al 3%<sup>1</sup>.; sobre las regiones del Magdalena medio, los Llanos Orientales y la Costa Pacífica de Nariño<sup>2</sup>.

El cultivo de Palma de Aceite es una de las opciones de uso agrícola de las tierras del trópico bajo, debido a su alto potencial de rendimiento de aceite, del cual se derivan una serie de productos como margarinas, aceites comestibles, lubricantes, jabones y cosmetología entre otros, que mejoran la economía del país y la calidad de vida de sus habitantes.

Es importante destacar que el 13% del área cultivada en Palma de Aceite en Colombia está en la región del sur-occidente colombiano. Esta región ha alcanzado una de las mayores producciones por hectárea a nivel mundial (4.2 ton/ha de aceite), muy probablemente debido a que presenta condiciones edafoclimáticas favorables para el desarrollo del cultivo, aspecto común a sus tres subregiones: aluviones recientes del Río Mira, colinas onduladas y colinas quebradas<sup>3</sup>.

En el cultivo de la palma de aceite la combinación de análisis de suelos y foliares, estudio del clima y condiciones agronómicas como la topografía, brindan una herramienta necesaria para optar por decisiones acertadas a la hora de implementar el programa, época y forma de realizar la fertilización.

Sin embargo, la gran mayoría de los cultivadores de la palma de aceite en Colombia acostumbran a elaborar los programas de fertilización tomando como referencia los resultados de los análisis foliares haciendo poco o nulo caso al estudio de las condiciones como la ubicación de las palmas en la pendiente, condición que puede incidir en la adecuada nutrición del cultivo, dado que de esta dependen fenómenos como la erosión, lixiviación y movimiento de los nutrientes;

---

<sup>1</sup> MUNEVAR, M.F. Fertilización de la palma de aceite para obtener altos rendimientos. Palmas (Colombia) v. 22 N° 4, 2001. p. 9-17

<sup>2</sup> GOMEZ CUERVO, P.L. El desarrollo tecnológico y la competitividad de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia. In. Primer curso Internacional de Palma de aceite, CENIPALMA, Santafé de Bogotá, 1996. P 426-432 (memorias).

<sup>3</sup> OWEN, B.E. Estado de las principales características físico-químicas de los suelos palmeros de la region de la costa pacífica. Palmas (Colombia) v 16 N°3, 1995. p. 29-34.

el conocimiento de esta variable del suelo puede contribuir a solucionar algunos problemas nutricionales, apoyándose además en el estudio de los resultados del análisis edáfico<sup>4</sup>.

Teniendo en cuenta que la fertilización es uno de los rubros más costosos de la producción agronómica de la palma africana (20-30% de las prácticas de mantenimiento); un método adecuado para reducir estos costos, es realizar la caracterización química de los suelos, correlacionarlos con los análisis foliares, hacer planes de fertilización adecuados a las necesidades del cultivo y aplicar los correctivos necesarios desde el inicio del cultivo y acorde a la zona donde se ubique<sup>5</sup>.

Según lo anterior, el presente trabajo se realizó en cumplimiento del siguiente objetivo:

### **Objetivo general**

Contribuir al conocimiento de la fertilidad de los suelos bajo cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis Jacq*), en el Municipio de Tumaco - Nariño.

### **Objetivo específico**

- Caracterizar la fertilidad edáfica de los suelos bajo cultivo de palma africana en la Plantación Palmas de Tumaco.

---

<sup>4</sup> MUNEVAR, M, F Y FRANCO, P.N. Guía general para el muestreo foliar y de suelos en cultivos de palma de aceite. Cenipalma, Santafé de Bogotá. (Boletín técnico N° 12) 2° ed. 2003. 24p.

<sup>5</sup> OWEN, Op., cit. P. 17

## 1. MARCO TEORICO

### 1.1 LA IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE PALMA AFRICANA EN COLOMBIA

La Palma de aceite es un cultivo tropical permanente<sup>6</sup>. Tiene un promedio de vida entre 24 y 28 años dependiendo del genotipo plantado, durante este lapso cada palma puede alcanzar producciones de 4.2 toneladas de aceite/ha (28-32 ton de RFF Racimos de fruta fresca en condiciones óptimas), situación que se da si el proceso productivo se desarrolla en condiciones adecuadas de suelo, clima, nutrición, mantenimiento, sanidad y administración<sup>7</sup>.

La importancia de la palma de aceite la constituyen las diferentes alternativas de uso que ofrece su aceite: para consumo humano (aceites, margarinas), el aceite crudo como carburante combustible para mezclarlo con la gasolina, en la fabricación de lubricantes, concentrado para animales, jabones, detergentes y en la cosmetología<sup>8</sup>.

Para el año 2000, a nivel mundial, el cultivo de palma de aceite alcanzó un área total en producción cercana a los 6.5 millones de hectáreas y Colombia ocupó el cuarto lugar a nivel mundial y el primero a nivel latinoamericano con una producción cercana a las 682 mil toneladas, las cuales provienen de 275. 317 hectáreas sembradas<sup>9</sup>; en la actualidad Colombia, continua siendo el primer productor latinoamericano y el área cultivada se ha incrementado en 1%<sup>10</sup>.

El cultivo de palma africana en el año 2000 representaba en Colombia el 4.9% de la producción agropecuaria correspondiente a \$438 millones de dólares; satisfaciendo el 59% del consumo de grasas y aceites vegetales del país; además se exportaba a mercados de América y Europa más de 124 mil toneladas de aceite de palma y 20 mil toneladas de aceite de palmiste<sup>11</sup>, condición que en la actualidad se ha incrementado en el 0.5%, dado el aumento del área cultivada<sup>12</sup>

---

<sup>6</sup>CORREDOR MEJIA, C. A. Importancia del gremio en la actividad palmicultora. In. Primer curso Internacional de Palma de aceite, CENIPALMA, Santa fe de Bogotá, 1996. P 421-425 (memorias).

<sup>7</sup>BERNAL, N.F. El cultivo de la palma de aceite y su beneficio, Guía general para el nuevo palmicultor. FEDEPALMA, Santafé de Bogota, 2001. 186p.

<sup>8</sup>BERNAL, N.F. Ibid. P. 23.

<sup>9</sup>FEDEPALMA. Cultivo de Palma de Aceite y su beneficio. Santafé de Bogotá, 2001. 186p.

<sup>10</sup>FEDEPALMA. Proyecciones y producciones 2010. Santafé de Bogotá, 2006. 136p.

<sup>11</sup>BERNAL, N. F. Op., cit. P. 25

<sup>12</sup>FEDEPALMA. Op., cit. P. 36

A nivel regional, Colombia está dividida en cuatro zonas productoras de palma de aceite; Zona norte (89.863 ha), Zona Central (64.630 ha), Zona oriental (88.409 ha) y Zona del Pacífico u occidental (32.416 ha), las cuales han alcanzado producciones promedio por hectárea de 3.9 ton de aceite/ha en la zona central y norte, 3.7 ton/ha en la oriental y 4.2 ton/ha la zona occidental, siendo una de las producciones más altas registradas a nivel mundial<sup>13</sup>.

## **1.2 LA COSTA PACIFICA DE COLOMBIA EN EL CULTIVO DE PALMA AFRICANA**

La zona Pacífica de Colombia es una de las cuatro regiones donde se cultiva con éxito la palma africana, la cual tiene una producción por hectárea cercana a las 4.2 ton. de aceite/ha, uno de los valores más altos alcanzados a nivel mundial, superada únicamente por Malasia con 4.9 ton/ha<sup>14</sup>; Es decir, que la zona tiene producciones superiores a las logradas por la zona norte, central y oriental de Colombia. Los resultados anteriores permiten destacar la importancia de esta región en el país y en el sector palmero (aun cuando presente la menor área cultivada, 32.416 ha) y la relevancia que debe tener el mayor conocimiento que se tenga de estos suelos; sea para mantener o incrementar las producciones de aceite<sup>15</sup>.

La zona pacífica se caracteriza por tener condiciones favorables en cuanto a contenidos de materia orgánica (8.9%), pH (5.5), porcentaje de saturación de aluminio (24.30%), Sodio (1.59%), la conductividad eléctrica (0.87 mmhos/cm), así como los contenidos de calcio (3.14 me/100g), potasio (0.26 me/100g), ClCe (5.29 me/100g) y en general en los elementos menores<sup>16</sup>, que se hace evidente cuando se comparan con los valores favorables presentados en el cuadro 1. Así mismo, esta zona tiene la ventaja de poseer condiciones ideales de temperatura, luminosidad y humedad para el desarrollo del cultivo, condiciones que pueden ser superiores a las de Malasia e Indonesia<sup>17</sup>.

---

<sup>13</sup>DISHINGTON, M.J., Et al. Visión y estrategias de la palmicultura colombiana: 2000 – 2020. Fedepalma. Bogotá, 2000. 290p.

<sup>14</sup>FEDEPALMA. Op., cit. P. 35

<sup>15</sup>DISHINGTON, M.J., Op., cit. P. 46

<sup>16</sup>OWEN, B.E. Op., cit. P. 32

<sup>17</sup>GOMEZ CUERVO, P.L. Op., cit. P. 428



**Cuadro 1.** Contenidos Nutricionales promedio favorables para el cultivo de la palma de aceite

<b>Elemento</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor favorable</b>
Materia Orgánica	%	> 2
pH		4.5-8.0
Saturación Aluminio	%	< 70
Saturación de Sodio	%	> 7
Conductividad eléctrica	Mmhos/cm.	< 1
Fósforo	ppm B II	Bajo < 10 Medio 10-20 Alto > 20
Potasio	Meq/100g	> 0.15
Magnesio	Meq/100g	> 0.20
Calcio	Meq/100g	> 3
Ca/K		2-40
Mg/K		2-10
(Ca+Mg)/K		5-50
Azufre	ppm	> 10
Zinc	ppm	> 1.5
Hierro	ppm	> 20
Cobre	ppm	> 1.0
Manganeso	ppm	< 5
Boro	ppm	> 0.25

Fuente: Owen, 1995.

Con base en lo anterior es claro que el crecimiento, desarrollo y producción normales de la palma de aceite son producto de la interacción adecuada de los principales recursos ecofisiológicos de la zona de producción (radiación solar, precipitación, humedad relativa y condiciones de suelo, como la topografía); si por el contrario algunos de estos factores se encuentran por fuera de los límites de tolerancia en cualquier etapa de desarrollo del cultivo, las palmas alterarán su desempeño productivo y la capacidad de resistencia al ataque de plagas y enfermedades<sup>18</sup>.

### 1.2.1 Los suelos aluviales de la región pacífica palmicultora

Los suelos aluviales de la zona del pacífico Colombiano se han formado por la erosión de las montañas debido a la alta precipitación, son de buena fertilidad muy apropiados para el cultivo de palma de aceite; sin embargo, existen algunos Latosoles provenientes de lixiviados de rocas sedimentarias del terciario, caracterizados por ser de textura arcillo - arenosa y arcillo – limosa, de coloración amarillo - rojizo o pardo - rojizo, con problemas de drenaje y regular fertilidad y los

<sup>18</sup>CAYON, D.G. Ecofisiología de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq). In. Primer curso Internacional de Palma de aceite, CENIPALMA, Santafé de Bogotá, 1996. P 38-51 (memorias).

suelos derivados de depósitos sedimentarios, que presentan bajos contenidos nutricionales<sup>19</sup>.

La región pacífica donde se cultiva palma de aceite, se caracteriza por que presenta topografías planas, onduladas y quebradas, se encuentra en la misma formación ecológica (bosque húmedo tropical bh-T), con temperatura promedio superior a 24 °C, precipitación anual de 2000-4000 mm y una altitud que va de 0 á 1000 m.s.n.m; Sin embargo, esta zona exhibe tres diferentes tipos de suelos Ah, Ch y Cj<sup>20</sup>.

Los suelos **Ah**, son bien drenados, muy evolucionados en clima húmedo y seco, desaturados y desarrollados en terrazas antiguas. Los suelos **Ch**, están presentes en climas húmedos y relieve ondulado, poco evolucionados de moderadamente a bien drenados y con muy baja saturación de bases, y los suelos **Cj** están presentes en climas húmedos, desarrollados a partir de sedimentos arcillosos y arenosos, en relieve plano a ondulados<sup>21-22</sup>.

Teniendo en cuenta los tipos de suelos, la topografía y origen de los suelos, las plantaciones de palma de aceite de la Costa pacífica, están ubicadas en tres subregiones: aluviales recientes del Río Mira, colinas onduladas y colinas quebradas<sup>23</sup>.

**1.2.1.1 Aluviales recientes del Río Mira.** Estos suelos presentan mal drenaje, son muy evolucionados en clima húmedo y seco, desarrollados en terrazas antiguas con una formación ecológica de bosque húmedo tropical (bh-T); con una temperatura media superior a 24°C, un promedio de lluvia anual de 3000 mm<sup>24</sup>.

Esta zona agroecológica está comprendida por tierras aluviales de relieve plano, con pendientes hasta del 3%, favorable para el cultivo de la palma de aceite, sus suelos están formados a partir de material sedimentario, de fertilidad baja, afectados por inundaciones<sup>25</sup>.

---

<sup>19</sup> HARTLEY, C.W.S. La Palma de Aceite. Trad. del inglés por Eduardo Maldonado. México: Continental, 1983. 652 p.

<sup>20</sup> CORTEZ, L.A., Et al (1985) citados por OWEN, B.E. Estado de las principales características físico-químicas de los suelos palmeros de la region de la costa pacífica. Palmas (Colombia) v 16 N°3, 1995. p. 29.

<sup>21</sup> ESPINAL y MONTENEGRO (1963) citados por OWEN, B.E. Estado de las principales características físico-químicas de los suelos palmeros de la region de la costa pacífica. Palmas (Colombia) v 16 N°3, 1995. p. 30.

<sup>22</sup> CORTEZ, L.A., Et al. Mapa de Suelos de Colombia, Escala 1:500.000. Subdirección Agrícola IGAC. Santa fe de Bogotá, 1982. p. 86. Citado por OWEN. Estado de las principales características físico - químicas de los suelos palmeros de la región de la Costa Pacifica, Vol. 16., No 3. 1995. pp. 31.

<sup>23</sup> CORTEZ, L.A., Et al. Ibid. P. 86.

<sup>24</sup> ESPINAL, L.S., MONTENEGRO, M. Formación Vegetal de Colombia. Memorias Explicativas Sobre el Mapa Ecológico, Departamento Agrícola, IGAC. Santa fe de Bogotá, 1995. p. 20.

<sup>25</sup> CORTEZ, L.A., Et al. Op., cit P. 86.

Esta subregión tiene textura franca, con una profundidad efectiva promedio de 75 cm; debido a la pendiente baja y en áreas inundadas, se presenta un nivel freático alto para lo cual es necesario realizar obras de drenaje profundo para garantizar una profundidad efectiva óptima<sup>26</sup>.

En cuanto a las propiedades químicas presenta los siguientes valores promedios: materia orgánica del 7.28%, fósforo de 17.6 ppm, pH 5.4, saturación de aluminio del 7.75%, saturación de sodio de 1.15% y conductividad eléctrica de 0.58 mmhos/cm<sup>27</sup>. Si estos valores se comparan con los niveles favorables previamente registrados (ver Cuadro 1), se evidencian condiciones adecuadas, donde un buen manejo, conocimiento del suelo y programación agronómica conlleva a incrementar los rendimientos de producción de aceite.

**1.2.1.2 Colinas onduladas.** Los suelos de esta subregión presentan un buen drenaje, poco evolucionados y con baja saturación de bases.

En cuanto a su agroecología es similar a la de las subregiones de colinas onduladas y quebradas; se caracteriza por presentar suelos de colinas en el andén del Pacífico con pendientes hasta del 25%; son suelos que se formaron a partir de material sedimentario, de moderada a altamente evolucionados, de baja fertilidad, son regularmente bien drenados, condición que obliga en algunos casos a realizar drenajes; poseen una textura franco-arcillosa con una profundidad efectiva de 65 cm<sup>28</sup>.

Entre las características químicas que presentan estos suelos son: contenido de materia orgánica del 11.38%, contenido de Fósforo de 7.0 ppm, pH de 4.8, saturación de aluminio de 33.55%, saturación de sodio 1.65% y una conductividad eléctrica de 1.22 mmhos/cm<sup>29</sup>.

Los valores que presenta esta subregión son adecuados para el desarrollo de la palma africana, no presenta condiciones limitantes en cuanto a suelo, conclusión que se puede determinar si se comparan con los registros del cuadro 1.

Dado que estos suelos tienen la tendencia a inundarse, muchas veces presentan contenidos altos de materia orgánica, lo que permite que el desarrollo de las palmas sea aceptable; sin embargo, es probable que se presenten volcamientos de palmas por presentar niveles freáticos altos y problemas de deficiencias de elementos como el zinc y el cobre<sup>30</sup>.

---

<sup>26</sup>OWEN, E. Op., cit P. 26.

<sup>27</sup>ESPINAL, L.S., MONTENEGRO, M. Op., cit. P. 20.

<sup>28</sup>ESPINAL, L.S., MONTENEGRO, M. Ibid. P. 20.

<sup>29</sup>OWEN, E. Op., cit P. 27.

<sup>30</sup>OWEN, E. Ibid P. 27.

**1.2.1.3 Colinas quebradas.** son suelos desarrollados a partir de sedimentos arcillosos que se alternan con material arenoso de origen ígneo – metamórfico<sup>31</sup>. Presenta una topografía con una pendiente mayor de 40%, con textura franca y una profundidad efectiva > 90 cm; respecto a los contenidos nutricionales que esta subregión en promedio alcanza son: materia orgánica 8.49%, contenido de fósforo 10.6 ppm, pH de 5.5, saturación de aluminio 24.30%, saturación de sodio 1.59% y una conductividad eléctrica de 0.87 mmhos/cm<sup>32</sup>.

Respecto a los valores anteriores y al compararlos con el cuadro 1, se indica que en general el porcentaje de materia orgánica, saturación de aluminio, de sodio, la conductividad eléctrica y el pH son favorables para el cultivo de palma africana, así como los contenidos de aluminio, calcio, magnesio, potasio, sodio, la capacidad de intercambio catiónico, el azufre, el manganeso y el Zinc; en cambio los contenidos de fósforo, y algunos casos los de magnesio y boro son bajos y necesitan que en el programa de manejo de fertilización, se estudien las fuentes apropiadas que brinden las dosis necesarias<sup>33</sup>.

### 1.3 EDAFOCLIMATOLOGÍA DEL CULTIVO

#### 1.3.1 Requerimientos nutricionales de la Palma de aceite

La palma de aceite en todas sus etapas de crecimiento demanda nutrientes; desde unos pocos días después de la germinación hasta el final de la etapa productiva<sup>34</sup>. De esta forma, los nutrientes absorbidos por la planta toman diferentes destinos, los cuales se pueden agrupar en el consumo para sustentar el crecimiento vegetativo, la inmovilización en los diferentes tejidos y los requeridos para la producción de frutos. Esta demanda puede ser satisfecha en parte por los nutrientes presentes en el suelo, por el retorno atmosférico de algunos de ellos y complementada por la adición de fertilizantes<sup>35</sup>.

Una hectárea que produzca al año 25 toneladas de Racimo de Fruto Fresco (RFF); remueve, inmoviliza y recicla grandes cantidades de nutrientes del suelo<sup>36</sup>. El Cuadro 2, describe el consumo de nutrientes que realiza la palma de aceite y las cantidades recicladas por la misma que retornan al suelo.

---

<sup>31</sup> CORTEZ, L.A., Et al, Op., cit. P. 31.

<sup>32</sup> OWEN, E. Op. cit., P. 28.

<sup>33</sup> OWEN, E. Ibid. P. 27.

<sup>34</sup> MUNEVAR, M.F. Op., cit P. 14.

<sup>35</sup> MUNEVAR, M.F. Op., cit P. 15.

<sup>36</sup> MONOMEROS COLOMBO VENEZOLANOS S.A. (E.M.A.). Fertilización cultivos de clima cálido. 2 de la serie programada por MCV S.A., Edición N° 1, Bogotá, 1993. 159 p.

Al respecto (cuadro 2), se puede observar, lo eficiente que es el cultivo de la palma aceitera, dado que de los nutrientes que llegan al cultivo, retornan al suelo cerca del 50% a través del reciclaje de nutrientes en los residuos de cosecha que son incorporados al suelo.

**Cuadro 2.** Consumo inmovilización y reciclado de nutrientes en una hectárea de palma africana

NUTRIENTE	CONSUMO kg/ha/año	CONSUMO(RFF) kg/ha/año	RECICLADO kg/ha/año	INMOVILIZA (MATERIAL VEGETAL) kg/ha/año
N	192	73	78	41
P	26	12	11	3
K	251	93	102	56
Mg	61	21	28	12
Ca	89	20	60	9
B	0,2	0,05	0,11	0,04

Fuente: MUNEVAR, 2001

Una vez se conocen las cantidades absorbidas por los diferentes tejidos que conforman la palma de aceite, es relevante conocer la cantidad de nutrientes que el cultivo necesita para su óptimo desarrollo, lo cual obliga a que el suelo mantenga cantidades suficientes, de no ser así, se presentará déficit del contenido de éstos en el suelo; siendo necesaria la aplicación de fertilizantes para compensar la falta o carencia de nutrientes<sup>37</sup>.

Una vez se conocen los contenidos nutricionales que debe tener el suelo para el desarrollo de la palma de aceite, será imprescindible tener en cuenta el resultado de los análisis de suelos, la edad de las palmas, el tipo de material sembrado, la cobertura, el clima y la temperatura, entre otros, para implementar un programa de fertilización ajustado, que apunte a incrementar los niveles de producción<sup>38</sup>

De acuerdo con los valores presentados en el cuadro 3, la palma de aceite se comporta bien dentro del rango de pH bajos; este indicador de la acidez está íntimamente relacionada con la presencia de Aluminio intercambiable, la fijación y bajos contenidos de algunos elementos y con la baja disponibilidad de fósforo, nitrógeno, bases intercambiables y microelementos<sup>39</sup>; sin embargo, es importante destacar que el cultivo de la palma de aceite es tolerante a condiciones ácidas del suelo.

<sup>37</sup> MUNEVAR, M.F. Op., cit P. 17.

<sup>38</sup> LEON, L.A. Los elementos maores Nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo. IN Seminario taller Fundamentos para la interpretación de Análisis de suelos, plantas y Aguas para Riego. 3° ed. SCCS. Bogota, 2000. pp. 141-163. (memorias)

<sup>39</sup> GUERRERO, R. La acidez del suelo-su naturaleza, sus implicaciones y su manejo. IN Seminario taller Fundamentos para la interpretación de Análisis de suelos, plantas y Aguas para Riego. 3° ed. SCCS. Bogota, 2000. pp. 141-163. (memorias).

En el cuadro 3 se describen los niveles óptimos y limitantes de los contenidos nutricionales en el suelo, requeridos para el desarrollo de la palma africana, que semejan los descritos en el cuadro 1 en la zona pacífica de Colombia.

**Cuadro 3.** Niveles nutricionales del suelo para el desarrollo del cultivo de palma aceitera.

PARAMETRO	UNID	CLASIFICACIÓN		
		Bajo	Medio	Alto
pH		<4,5	4,5 a 5,5	>5,0
M.O.	%	<2,0	2,0 a 4,0	>4,0
C.I.C	meq/100g	<10	10 a 20	>20
P (Bray II)	ppm	<15	15 a 20	>20
K	meq/100g	<0,2	0,2 a 0,4	>0,45
Ca	meq/100g	<3	3 a 6	>6
Mg	meq/100g	<0,2	0,2 a 0,3	>0,3
S	ppm	<10	10 a 15	>15
B	ppm	<0,25	0,25 a 0,50	>0,50
Fe	ppm	<15	15 a 30	>30
Cu	ppm	<0,5	0,5 a 1,5	>1,5
Mn	ppm	<5	0,5 a 10	>10
Zn	ppm	<1,0	1,0 a 2,0	>2,0
SAT Al	%	<25	25 a 50	>50
SAT Na	%	<10	10 a 15	>15

Fuente: MUNEVAR, 2001

Respecto al Nitrógeno, la palma de aceite requiere cantidades importantes, de este nutriente que favorece la emisión de hojas, el color de las mismas, la estructura de la plantas (aminoácidos y proteínas, bases nitrogenadas, ácidos nucleicos) y actúa en los procesos de absorción iónica, fotosíntesis, respiración, síntesis, multiplicación y diferenciación celular<sup>40</sup>

Las deficiencias de Nitrógeno producen en las plantas, crecimiento lento y poco desarrollo con coloraciones verde pálidas o amarillentas en las hojas inferiores con caída prematura de las mismas, escaso macollamiento. Si por el contrario hay exceso la parte aérea crece excesivamente, produciendo hojas largas y débiles<sup>41</sup>

En cuanto al fósforo, su presencia es necesaria para que las palmas desarrollen adecuadamente el sistema radical y tengan una buena tasa de crecimiento. Su

<sup>40</sup>MUNEVAR, M.F. Conceptos sobre la materia orgánica y el nitrógeno del suelo relacionados con la interpretación de análisis químicos. In. Seminario –Taller fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo, Santafé de Bogotá, 2000. pp. 227-243 (memorias).

<sup>41</sup>MONOMEROS, Op., cit. P.119-123.

deficiencia por ser un elemento móvil en las plantas se manifiesta en las hojas inferiores o viejas, produciendo la muerte descendente o secamiento de estas hojas, el crecimiento de las raíces se reduce al igual que la floración. Si hay exceso de fósforo se acelera la maduración a expensas del crecimiento y puede generar efectos adversos sobre la utilización de otros nutrientes como el Zn y el Fe<sup>42</sup>.

El potasio actúa como activador de enzimas responsables del metabolismo de las proteínas y carbohidratos, estimula la floración, evita los abortos, le confiere a la palma resistencia contra algunas enfermedades, tiene papel específico en la economía del agua de la planta, pues controla el movimiento de los estomas y al activar su cierre limita la transpiración, le da turgencia a los tejidos foliares, es decir la hace tolerante a las sequías e influye en el peso de los racimos. Los síntomas de deficiencias se observan en las hojas viejas o inferiores a manera de manchas o clorosis amarilla anaranjada<sup>43</sup>

El exceso de potasio puede causar numerosos problemas de nutrición de las plantas, especialmente con el nitrógeno, el calcio, el magnesio y el boro, induciendo deficiencias de este último nutriente especialmente en suelos ácidos<sup>44</sup>

El calcio forma parte de la pared celular para formar tamices protectores que permiten el paso de nutrientes a la célula. Las deficiencias encontradas en algunas palmas presentan hojas anormales, cortas, limbos estrechos y las raíces no salientes<sup>45</sup>.

El Magnesio es un componente esencial de la clorofila y acompaña a los fosfatos, se combina con éstos para trasladarse a los sitios precisos como fosfatos de magnesio. La deficiencia de este nutriente se caracteriza por la coloración uniforme de amarillo a amarillo anaranjado de los folíolos de las hojas más viejas, permaneciendo la nervadura central verde. La decoloración de las hojas se presenta en las partes más expuestas al sol, conocido este fenómeno como efecto sombra<sup>46</sup>.

---

<sup>42</sup>MUNEVAR, M.F. Op., cit. P. 229-231.

<sup>43</sup>ANDERSON, D.L., BOWEN, J.E. Nutrición de la Caña de Azúcar, Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS), Quito, 1994. 40p.

<sup>44</sup>LEON, Op., cit. P 149-151.

<sup>45</sup>Ollagnier, 1970 citado por Owen, Fertilización de la palma africana (*Elaeis guineensis* jacq.) en Colombia. Palmas (Colombia) v 13 N°2, 1992. p. 29-34.

<sup>46</sup>GUERRERO, R. La acidez del suelo-su naturaleza, sus implicaciones y su manejo. IN Seminario taller Fundamentos para la interpretación de Análisis de suelos, plantas y Aguas para Riego. 3° ed. SCCS. Bogota, 2000. pp. 141-163. (memorias).

Aunque en menores cantidades, las palmas requieren de azufre y boro especialmente. Lo cual depende del material parental, los contenidos del suelo y de las aplicaciones de microelementos realizadas en la fase de vivero<sup>47</sup>.

El boro cumple con la función de facilitar la entrada de otros elementos a las células, funciona como catalizador y actúa en los procesos de oxidación y reducción. La deficiencia de boro provoca anomalías en el desarrollo que se traduce en perjuicios para la palma y su producción; su sintomatología se manifiesta en las hojas jóvenes, el más común es el foliolo en forma de gancho, también se pueden observar arrugamiento transversal del foliolo, bandas blancas, doblamiento abrupto de la hoja, punta de cerdas, hoja pequeña y hasta la muerte de la misma<sup>48</sup>.

## **1.4 ANÁLISIS DE SUELO**

### **1.4.1 Análisis de suelos**

El análisis de suelo es un procedimiento de laboratorio que permite determinar diferentes parámetros químicos relacionados con la fertilidad; estas condiciones establecen en algunos casos la disponibilidad de los nutrientes en el suelo y en otros permiten establecer el comportamiento de dichos nutrientes y su respuesta a la adición de fertilizantes<sup>49</sup>.

Sin embargo, cuando estos análisis no obedecen a un conocimiento, aplicación y seguimiento de los cambios que suceden en el suelo y a sus manifestaciones nutricionales a través de la planta; es probable que estos análisis no conlleven a resultados precisos que permitan determinar los requerimientos de fertilizantes ya que:

1. Por ser la palma africana un cultivo perenne, éste puede absorber nutrimentos no disponibles en el momento del análisis por absorción posterior de las arcillas y la materia orgánica, de ahí que este proceso obedezca al pleno conocimiento del origen, evolución y cambios que sucedan en el suelo.
2. Existe un gran volumen de suelos donde las raíces extraen los nutrimentos y el muestreo de suelos no logra tomar una muestra representativa, para realizar un análisis representativo.
3. La disponibilidad de los nutrimentos varía con el clima especialmente por la precipitación, la temperatura, siendo además necesario tener en cuenta la

---

<sup>47</sup>MUNEVAR, Op., cit. P. 235-237.

<sup>48</sup>NG, S.K. The Oil Palm, its culture, Manuring and utilisation. International Potash Institute, Berne, 1972. pp. 99-145.

<sup>49</sup>MUNEVAR M, F y FRANCO, P.N. Op., cit. P. 12-14.



pendiente del terreno<sup>50</sup>, ya que las pendientes mayores del 16% generan problemas de erosión, que puede disminuir el potencial nutricional del suelo<sup>51</sup>.

**1.4.1.1 La Toma de Muestras.** Para tener resultados confiables se hace necesario aportar una muestra apropiada y representativa de suelo, para lo cual se deben tener en cuenta los siguientes aspectos<sup>52</sup>:

1. Cada unidad de muestreo de suelos (**UMS**) debe provenir de áreas edafológicamente parecidas, una unidad de muestreo estará conformada por 20 o 30 submuestras; y cada UMS representará de 20 a 30 ha.
2. La época de muestreo debe realizarse con tres meses de anticipación a la próxima fertilización.
3. Las herramientas de muestreo deben estar limpias y libre de contacto con fertilizantes.
4. El sitio de muestreo está relacionado con la edad de la palma, en plantaciones menores de tres años, la distancia con respecto al estipe no debe ser mayor a 1.5 m; mientras que en palmas de más de tres años el muestreo se realizará donde se presente la mayor concentración de raíces.
5. La profundidad de muestreo se realizará en los primeros 30 cm, ya que es el lugar donde mayor concentración de raíces se encuentra.

## 1.5 ANALISIS MULTIVARIADO

El análisis multivariado permite en forma simultánea cuantificar múltiples características presentes en una misma unidad experimental y explicar cual o cuales variables son relevantes y contribuyen a imponer mayor porcentaje de variabilidad.

De esta forma se puede establecer como unidad experimental una parcela o un lote donde las características a evaluar, sean mediciones, tratamientos o propiedades, son intrínsecas a dichas unidades. Los métodos estadísticos multivariados pueden permitir extraer información acerca de la interdependencia entre variables que caracterizan a cada uno de los individuos (Análisis de componentes principales ACP) y los que dan claridad acerca de la dependencia entre una o varias variables con otra u otras<sup>53</sup>.

---

<sup>50</sup> MONOMEROS Op., cit. P. 128.

<sup>51</sup> CASTILLO, R.A. Aspectos a tener en cuenta para el desarrollo de un cultivo de palma africana. In. Primer curso Internacional de Palma de aceite, CENIPALMA, Santafé de Bogotá, 1996. P 69-96 (memorias).

<sup>52</sup> MUNEVAR M, F y FRANCO, P.N. Op., cit. P. 12-18.

<sup>53</sup> PLA, L. E. Análisis multivariado: Método de componentes principales. OEA. Washintong, 1986.

### **1.5.1 Análisis de componentes principales (ACP)**

El análisis de componentes principales (ACP) es uno de los métodos multivariados simples que consiste en tomar varias variables de evaluación y encontrar combinaciones de estas para producir un índice que no es correlacionado. Esta falta de correlación es una propiedad útil porque significa que los índices son diferentes medidas de dimensiones de la variable<sup>54</sup>.

Los objetivos fundamentales del ACP son generar nuevas variables que puedan expresar la información contenida en el conjunto original de datos, reducir el número de variables de un fenómeno en particular como requisito previo a futuros análisis, reducir la dimensionalidad del problema a unas pocas variables necesarias, ya que las otras aportan poca información; de esta forma permite estudiar relaciones entre variables cuantitativas y detecta relaciones lineales.

Este método debe ser aplicado cuando se desee conocer la relación entre los elementos de una población y se sospeche que en dicha relación influye de manera desconocida un conjunto de variables. Además, el componente principal sintetiza la máxima variabilidad residual contenida en los datos y coloca en forma decreciente la varianza del conjunto original de los datos.

Al reducir este grupo de variables, se facilita la interpretación de los resultados, teniendo en cuenta las distancias de Ward, que indican la variabilidad de cada individuo (muestra); de esta manera, las variables propuestas, permiten caracterizar el área de estudio y agrupar mediante un dendograma jerárquico los lotes con características similares existentes en la zona y sus factores más preponderantes que están influyendo en la fertilidad y productividad del cultivo en la zona de estudio.

### **1.5.2 Análisis de agrupamiento (cluster)**

El procedimiento de cluster establece una jerarquía de grupos, en un conjunto de datos, basados en criterios de agrupación que pueden ser coordenadas o distancias<sup>55</sup>.

Uno de los criterios de agrupación, es el método de Ward, el cual consiste en minimizar el crecimiento de la varianza intragrupo, resultante de la agregación de dos grupos en una clase<sup>56</sup>.

---

<sup>54</sup>PLA, L. E. Ibid. sp

<sup>55</sup>PLA, L. E. Ibid. sp

<sup>56</sup>CRIVISQUI, E. Presentación del Análisis de Componentes Principales. In: Seminario de métodos estadísticos multivariados aplicados a la investigación. Universidad de Nariño y PRESTA, 1997. 57p.

## **2. DISEÑO METODOLÓGICO**

### **2.1 LOCALIZACIÓN**

Este trabajo se llevó a cabo en la empresa Palmas de Tumaco S.A., en los meses de enero a junio de 2002; la plantación está ubicada al Occidente del Departamento de Nariño, en la Vereda de Imbilí a 40 kilómetros del Municipio de Tumaco, sobre el margen izquierdo del río Mira.

La zona corresponde a un bosque húmedo tropical y al grupo de suelos aluviales, de colinas onduladas y quebradas, presentan poca evolución, baja saturación de bases, de moderadamente a bien drenados; son de textura arcillo-arenosa y arcillo-limosa, presentan una coloración amarillo rojiza o pardo rojiza propios de suelos aluviales de la zona pacífica<sup>57</sup>.

La Empresa Palmas de Tumaco S.A. comprende un área total de 5420 hectáreas, con una superficie neta de 3785 hectáreas productivas de palma africana y 260 ha. en proceso de renovación, es decir que aun no inician etapa productiva.

### **2.2 CLIMA**

La empresa Palmas de Tumaco, presenta las siguientes condiciones climáticas, altitud media de 50 m.s.n.m., temperatura promedio anual de 26.8 °C, precipitación anual de 3120 mm, brillo solar anual de 890 horas y una humedad relativa del 82%<sup>58</sup>

### **2.3 ÁREA DE ESTUDIO**

En la Empresa Palmas de Tumaco S.A. se seleccionaron 134 lotes con diferente fecha de siembra los cuales registraron diferencias en cuanto a desarrollo y crecimiento de las palmas, condición que se observó en campo debido a la ubicación de las palmas en la topografía del terreno.

Se generaron tres variables de topografía teniendo en cuenta el porcentaje de pendiente de los lotes seleccionados<sup>59</sup>:

---

<sup>57</sup> PALMAS DE TUMACO. Informes en general de la plantación y estación meteorológica (Varios informes). Tumaco, 2002.

<sup>58</sup> PALMAS DE TUMACO. Ibid. sp

<sup>59</sup> CANCHANO, E. Uso y manejo de suelos. Universidad del Magdalena, Santa Marta, 1995. 395p.

1. Parte baja con una inclinación en la pendiente 0 á 25% (topografía ondulada)
2. La parte media una inclinación en la pendiente de 30 á 40% (topografía quebrada)
3. La parte alta mayor a 40% de pendiente (topografía quebrada)

Una vez establecidos los criterios de topografía en los lotes, estos se agruparon en cuatro zonas experimentales (cuadro 5), en cada zona se registró la información de altitud, topografía, pendiente, número de lotes, área, programa, edad y la producción promedio por hectárea. De tal manera que el área total de estudio comprendió 1.635,67 ha.

**Cuadro 4:** Descripción de las cuatro zonas experimentales agrupadas por la topografía, Palmas de Tumaco S.A. Tumaco-Nariño

ZONA	ALTITUD msnm	TOPOGRAFIA	PENDIENTE %	AREA Ha	Nº LOTES muestreados	EDAD AÑOS	Producción Ton-ha-año
1	30-70	Ondulada	0-25	312,99	29	24	18,35
						23	18,96
2	30-60	Ondulada	15-20	464,42	32	22	18,80
						6	6,50
3	45-75	Quebrada	>40	407,64	32	21	20,97
						19	18,35
						6	21,83
4	45-70	Quebrada	30-40	450,62	41	3	3,20
						19	18,35
Total				1.635,67		12	17,00

## 2.4 MUESTREOS EDAFICOS

### 2.4.1 Muestreo edáfico

La toma de muestras de suelo se realizó siguiendo la metodología descrita por Munévar y Franco (1998)<sup>60</sup>; de esta forma cada unidad de muestra de suelo (UMS), representó 13.63 ha en promedio y estuvo constituida por 20

<sup>60</sup>MUNEVAR y FRANCO Op., cit. Pag. 17-23

submuestras; dado que el área experimental del estudio fue de 1635,67 hectáreas, se tomaron un total de 120 muestras, este valor se calculó de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{N}^\circ \text{ de Muestras a tomar} &= \text{Área total experimental} / \text{área cubierta por la UMS} \\ X &= 1635.67 / 13.63 \\ X &= 120 \text{ muestras} \end{aligned}$$

Para establecer el número de muestras a tomar por zona (cuadro 6), se procedió a determinar el porcentaje de representación en área de cada zona y mediante una regla de tres se calculó el muestreo por zona así:

	Porcentaje de Representación	N° muestras por zona
Área total 1635,67 Ha =	100 %	120 muestras
Zona uno 312.99 Ha =	20 %	? X= (120 x 20)/100 X= <b>24</b> muestras

**Cuadro 5.** División del área a estudiar y cantidad de muestras a tomar por zona

ZONA	ÁREA Ha	PORCENTAJE DEL AREA TOTAL	N° MUESTRAS	N° Ha POR MUESTRA
1	312,99	20%	<b>24</b>	13,04
2	464,42	28%	34	13,66
3	407.64	25%	30	13,59
4	450.62	27%	32	14,08
<b>TOTAL</b>	<b>1.635,67</b>	<b>100%</b>	<b>120</b>	

Una vez se calculó el total de muestras por zona y teniendo los criterios de topografía (cuadro 5) se procedió a distribuir en forma uniforme el muestreo por condición de pendiente; es decir, número de muestras en la parte alta, media y baja de cada zona (cuadro 7)

Realizados los cálculos para determinar el número de muestras a tomar por zona y topografía; la recolección de cada UMS se realizó tres meses antes de la fertilización; para lo cual se utilizaron herramientas limpias y libres de fertilizantes (pala, baldes, machete, bolsas plásticas, altímetro y cinta para etiquetar).

**Cuadro 6.** Distribución uniforme de las muestras a tomar por zona y de acuerdo a la pendiente

ZONA	TOPOGRAFIA			N° MUESTRAS
	Alta	Media	Baja	
1	8	8	8	24
2	12	11	11	34
3	10	10	10	30
4	11	11	10	32

Para la formación de una unidad de muestreo de suelos (UMS), se recolectaron 20 submuestras de 200 gramos cada una; cada submuestra se tomó en un radio de 1.5 metros (en palmas menores de cuatro años) á 2.5 metros (en palmas mayores de cuatro años) del borde del estípote y a una profundidad de 20 cm, haciendo un corte en rectángulo con ayuda de un palín limpio libre de impurezas y fertilizantes; se realizó un recorrido del lote en zig-zag logrando cubrir toda el área correspondiente a la UMS; una vez se tuvieron las 20 submuestras, se limpiaron de raíces e impurezas, se mezclaron manual y uniformemente para finalmente dejar una UMS de 1 kilogramo de peso, la cual se secó al aire y posteriormente se procedió a marcar y etiquetar.

Las UMS, se enviaron al laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño, donde les realizaron el correspondiente análisis.

## **2.5 VARIABLES A EVALUAR**

### **2.5.1 Caracterización del suelo según su fertilidad**

El estado de fertilidad del suelo en cada zona bajo el criterio de topografía (alta, media y baja), fue determinado a través de los resultados de los análisis químicos de suelos tomados a la zona de estudio; las características evaluadas fueron: nitrógeno (NS), fósforo (PS), potasio (KS), calcio (CAS), magnesio (MGS), sodio (NAS), manganeso (MNS), zinc (ZNS), aluminio (ALS), cobre (CUS), hierro (FES), boro (BS), capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica (MO) y potencial de hidrógeno (pH).

Las características físicas tenidas en cuenta para el estudio fueron: densidad aparente (DA), porcentaje de arenas (ARE), porcentaje de limos (LIM), porcentaje de arcillas (ARC) y ubicación de cada muestra a través de la pendiente.

La determinación de las concentraciones de los elementos realizados en laboratorios, fueron sometidos a los métodos de extracción que se presentan en el cuadro 8.

**Cuadro 7.** Métodos de extracción empleado en el laboratorio de Suelos y Microbiología de la Universidad de Nariño, para la determinación de los nutrientes del suelo.

Elemento	medio de extracción	técnica de detección
Bases intercambiables (K, Ca, Mg, Na)	Acetato de amonio pH 7	Absorción Atómica
Al intercambiable	KCl 1N	Volumetría
Fósforo	Bray II	Colorimetría
Boro	Fosfato monocalcico 0.008M	Colorimetría
pH	Relación 1:1 Agua: Suelo	
Cu, Fe, Zn, Mn	Soluciones extractoras DTPA (ácido, diptilen-triamino-penta acético), TEA (Trietanolamina) y cloruro de calcio	
Textura	Bouyoucos	
CIC	Acetato de amonio pH 7	
Da	Cilindro graduado	
MO	Dicromato de potasio, ácido sulfúrico	Colorimetría

Fuente: Unigarro y Carreño, 2005

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se realizó su respectiva calificación de acuerdo a los requerimientos del cultivo (Cuadros 3 y 4).

## 2.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados de las 120 muestras se sometieron al procedimiento de análisis multivariado para componentes principales de agrupamiento (cluster) y de correlación entre las diferentes variables (provenientes de los análisis de suelo, análisis foliares y ubicación en la topografía del terreno); este método estadístico, permitió reducir la dimensión de las variables propuestas y creó un grupo de variables llamadas componentes principales, los cuales expresaron la información contenida en el conjunto original de datos y eliminaron algunas variables originales que aportaron poca información; es decir, este método permitió establecer combinaciones lineales entre las variables y de esta manera fue posible reducir la dimensionalidad del problema de estudio y establecer posibles explicaciones de cual o cuales de los nutrientes o aspectos de suelo pudieran incidir positiva o negativamente en el desarrollo y producción de la palma, permitiendo de esta forma ajustar los programas de fertilización, manejo y mantenimiento del cultivo.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSION

#### 3.1 CARACTERIZACION DEL SUELO SEGÚN SU FERTILIDAD.

El análisis de componentes principales mostró la conformación de 31 factores que caracterizaron a los suelos de la plantación Palmas de Tumaco S.A.; los cuales aportaron el 100% de la variación de los suelos; de los 31 factores, los primeros cinco, explican el 51.55% de la variación. (Cuadro 9; Anexo B y C)

**Cuadro 8.** Componentes que mayor variación aportan al estudio de las características de los suelos.

COMPONENTE PRINCIPAL	VARIABILIDAD INDIVIDUAL APORTADA	VARIABILIDAD ACUMULADA
Factor 1	13.69%	13.69%
Factor 2	11.57%	25.26%
Factor 3	10.97%	36.23%
Factor 4	8.58%	44.81%
Factor 5	6.74%	51.55%

##### 3.1.1 Conformación de los factores que mayor variabilidad aportan

**3.1.1.1 Factor uno.** Con un porcentaje de 13.69% este factor fue el que más aportó a la variabilidad del trabajo de investigación. El factor uno, estuvo compuesto principalmente por cinco variables (Cuadro 9; Anexo B) las características del suelo que mayor aporte realizaron para su conformación fueron Nitrógeno del suelo (0.71), Materia orgánica (0.70), Capacidad de intercambio catiónico (0.66), Densidad aparente (0.63), Arenas (0.62) y Aluminio (0.54) (Anexo C).

Los valores expresados anteriormente permiten establecer que cuando estos son más cercanos a 1 ó -1, la variable o característica presenta mayor varianza, es decir que es la característica a tener en cuenta a la hora de realizar un diagnóstico del suelo<sup>61</sup>.

**3.1.1.2 Factor dos.** El factor dos, con un aporte del 11.57% de la variabilidad observada (Anexo B), estuvo conformado principalmente por las variables, Edad (ED), Hierro foliar (FEF), sodio del suelo (NAS), boro foliar (BF); siendo estas las características de mayor relevancia en la variación dentro del factor dos, las cuales presentaron una correlación variable - factor de -0.69, -0.69, -0.59, 0.55, respectivamente (Anexo C).

<sup>61</sup>BROSCHAT, T.K. Principal Component analysis in Horticulture research. Hort Science, Vol 14, April 1979. p. 4



**3.1.1.3 Factor Tres.** Este factor aportó el 10.97% de la variación total y las variables con mayor incidencia en la conformación de este factor fueron (Anexo B): calcio foliar (CAF), Cobre del suelo (CUS) y Zinc del suelo (ZNS); con valores de 0.63, 0.61 y 0.55 respectivamente para cada característica (Anexo C).

**3.1.1.4 Factor cuatro.** El análisis de componentes principales permitió identificar a las variables Zinc foliar (ZnF) y Porcentaje De Limos (LIM); como las que más aportan a la conformación del factor cuatro; el aporte expresado por las correlaciones variable-factor fue de -0.80 y 0.55 respectivamente para cada característica); (Anexo C).

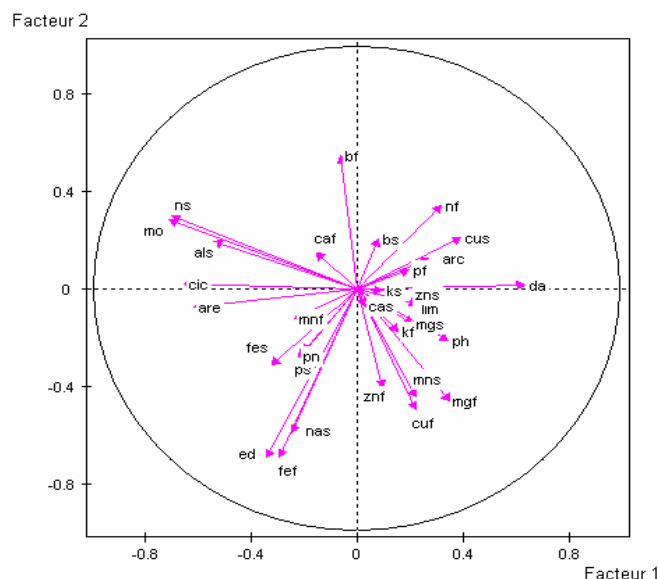
**3.1.1.5 Factor cinco.** El quinto factor, con un aporte del 6.74% de la variabilidad observada (Anexo B), estuvo conformada principalmente por las variables Boro del suelo (BS) y Potasio del suelo (KS); como las características de mayor variación dentro del factor cinco, mostrando una correlación variable - factor de 0.57y 0.52respectivamente (Anexo C).

### **3.1.2 Descripción de las principales variables evaluadas del factor uno.**

Para realizar una mayor comprensión de la importancia que toman las características que conforman las variables del factor uno, en la figura 1 se presenta la distancia y ubicación de cada una de las 31 variables que se estudiaron en la presente investigación producto de los resultados de análisis de suelo y ubicación topográfica, mediante vectores que parten desde el punto de intersección de los ejes hacia factor 1 y el factor 2 dentro del plano.

Si se observan en la figura 1 los vectores correspondientes a las variables Nitrógeno del suelo (0.70) y Materia orgánica (0.71) son las que más se aproximan al valor -1; correspondiente al eje horizontal o factor uno, por lo tanto, son las que presentan un mayor aporte para la conformación del factor uno.

Es importante tener en cuenta que en la zona del presente estudio los porcentajes de materia orgánica se encuentran entre el 2.90 al 12% (Anexo D); lo cual podría estar ejerciendo una marcada influencia en las propiedades químicas y físicas del suelo, que a su vez pueden afectar notoriamente su fertilidad, en razón a que suministra formas disponibles de nutrientes como Nitrógeno, fósforo y azufre, además que sus coloides orgánicos contribuyen a la capacidad de intercambio catiónico, mejoran la densidad aparente de los suelos, y con ello la producción de la palma de aceite.



**Figura 1.** Representación de las variables en el plano conformado por los componentes 1 y 2

Teniendo en cuenta los resultados observados y aun cuando los contenidos de materia orgánica se encuentran en porcentajes adecuados para el desarrollo de la palma de aceite (Promedio general 6.32%) (Anexo D); se presentaron zonas donde la tasa de mineralización podría ser reducida por tanto esta condición podría incidir sobre el desarrollo normal de las palmas, manifestándose en las palmas con clorosis y evidenciando bajas producciones, de ahí que se puede encontrar zonas que presenten cantidades reducidas a nivel foliar de nitrógeno, fósforo, azufre entre otros.

Debido a que en el suelo la tasa de mineralización podría ser reducida se puede dar que la materia orgánica se encuentra en niveles bajos que impiden un desarrollo óptimo del cultivo; además nutrientes como el calcio, el magnesio, el cobre y el zinc, se verán afectados ya que los coloides orgánicos de la materia orgánica tienen acción quelatante sobre ellos, que impide que estos nutrientes se pierdan por lixiviación.

Estos aspectos han sido corroborados por Munevar (2000), el cual explica las bondades de la materia orgánica como parte activa del suelo y los problemas generados cuando este componente orgánico es alto y la tasa de mineralización es baja<sup>62</sup>.

De acuerdo a lo expresado por Munevar, y dada la importancia que cobra la tasa de mineralización de la materia orgánica, es importante tener en cuenta la alta

<sup>62</sup>MUNEVAR, Op., cit. P. 252-254

precipitación que se presenta en la zona (entre 2000-4000 mm/año), lo cual puede incidir en el desarrollo y producción de la palma de aceite, ya que la lluvia excesiva puede afectar el porcentaje de humus que se genera de la mineralización de la materia orgánica, con ello se pueden presentar fenómenos de lixiviación de bases y micronutrientes tras lo cual existirán palmas poco desarrolladas y deficientes.

**3.1.2.1 Nitrógeno del suelo y Materia Orgánica.** El contenido de Nitrógeno en el Suelo osciló entre 0.14% (muestra tomada en la parte media de la pendiente ubicada entre los 46 - 60 msnm de la zona 1) y 0.47% (muestra tomada en la zona 4 y en parte alta de la pendiente ubicada entre los 61 - 75 msnm). De las 120 muestras tomadas al área estudiada se obtuvo un promedio general de 0.28% de Nitrógeno en el Suelo (Anexos A y D).

De igual forma, el contenido de materia orgánica (MO) osciló entre 2.90% y 12% correspondientes a las zonas y alturas mencionados en el nitrógeno; presentando un promedio general de 6.32% (Anexos A y D).

En el presente estudio se pudo establecer tres rangos de contenidos de materia orgánica; en el primer rango valores que van de 8.1 a 12% conformado por 13 muestras ó UMS de las cuales seis están ubicadas en la parte alta con un contenido promedio de materia orgánica de 10.05%, en la parte media conformado por seis muestras con promedio de 9.43% de materia orgánica. Finalmente dentro de este rango sólo se encontró una muestra ubicada en la parte baja (Anexo J).

El segundo rango de materia orgánica encontrado en el presente estudio fue de 5.1 a 8% conformado por 78 muestras de las cuales 29 correspondieron a las muestras tomadas de lotes ubicados en la parte media con un promedio de 6.52% de materia orgánica; con igual número de muestras (29) y con un promedio de 6.49% de materia orgánica mostró la parte alta y un contenido de materia orgánica del 6.36% correspondiente a 20 muestras ubicados en la parte baja (Anexo K).

Finalmente, un tercer rango de contenido de materia orgánica osciló entre 2.9 a 5% correspondiente a 29 muestras de los cuales 17 muestras se encuentran ubicadas en la parte baja de la pendiente teniendo un promedio de 4.26% de materia orgánica; en la parte media con 4.58% de materia orgánica se ubicaron 6 muestras y 6 muestras ubicados en la parte alta con un promedio de 4.56% de materia orgánica (Anexo L).

En Estos anexos (J y K) se destaca que los porcentajes más bajos de materia orgánica se registraron en el área correspondiente a las muestras ubicadas en la parte baja de la pendiente; probablemente la tasa de mineralización de esta área sea mayor que en la zona media y alta por lo cual las palmas de aceite tienen mayor disponibilidad de nutrientes asociados a la materia orgánica como Nitrógeno, fósforo, azufre entre otros y esto se traduce en desarrollo vigoroso del

cultivo, además si se tiene en cuenta que estas palmas pueden recibir los nutrientes transportados en los procesos de lixiviación y erosión, el mejor comportamiento registrado en estas áreas puede ser explicado por estos aspectos.

Como se puede observar en el presente estudio, los porcentajes más altos de materia orgánica se registran en la parte alta y media cuyos valores se encuentran por encima de 5% de MO, lo cual permite establecer que se tienen registros adecuados para el crecimiento y desarrollo normal de la palma de aceite; sin embargo, esta condición favorable en principio puede no serlo, si los procesos de mineralización se están dando en forma lenta, por tanto existe la probabilidad que estas áreas puedan tener deficiencias por nutrientes como Nitrógeno, fósforo, Azufre y algunos micronutrientes no puedan estar disponibles en el momento oportuno para el desarrollo de la palma y de esta forma las palmas con desarrollo fisiológico lento que se observan en estas áreas estén siendo afectados por estos procesos (Anexo K).

Adicionalmente, si la materia orgánica no se mineraliza los micronutrientes que forman quelatos con los coloides orgánicos pueden perderse por lixiviación dado que en la zona bajo estudio se registra una precipitación que se encuentra entre los 2000 a 4000 mm <sup>63</sup>.

La diferencia encontrada en la ubicación de las palmas (parte alta y media con respecto a la baja), permite establecer que el relieve del terreno es un factor importante que incide sobre la mayor o menor concentración de nutrientes.

NAVA, 1966 establece que el relieve es un factor importante a la hora de realizar los ajustes de fertilización dado que los problemas de lavado y pérdida de nutrientes son más factibles en las áreas altas de una pendiente<sup>64</sup>.

De otra parte, si se tiene en cuenta que los porcentajes de materia orgánica registrados en el presente estudio son superiores al 2% de MO (anexo A) estos son favorables para el cultivo de palma, ya que el cultivo de palma de aceite requiere niveles de materia orgánica que se encuentren entre el 2-4% en zonas como la de Tumaco, con lo cual es posible registrar una tasa de mineralización del 2% <sup>65</sup>.

---

<sup>63</sup> PALMAS DE TUMACO, Op., cit. Sp.

<sup>64</sup> NAVA Et al, 1966 citados por LEON, L.A. Los elementos maores Nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo. IN Seminario taller Fundamentos para la interpretación de Análisis de suelos, plantas y Aguas para Riego. 3° ed. SCCS. Bogota, 2000. pp. 141-163. (memorias).

<sup>65</sup> MUNEVAR M.F, Ibid. P. 148.

A medida que disminuye la temperatura, el contenido de materia orgánica aumenta debido a la baja tasa de mineralización de la misma<sup>66</sup>. En Colombia hay una relación inversa entre altitud y temperatura. Por esta razón, se ha encontrado una correlación positiva entre el contenido de materia orgánica y la altura sobre el nivel del mar<sup>67</sup>.

Una vez tenida en cuenta la ubicación de las palmas y su relación con la materia orgánica en la zona de estudio, es importante destacar que la materia orgánica ejerce una marcada influencia en las propiedades químicas y físicas del suelo. Cuando la materia orgánica de las plantas se descompone por acción de los microorganismos y macroorganismos del suelo, sus productos, junto con las secreciones de los organismos vivientes, suministran materiales susceptibles de unir las partículas del suelo entre sí, mejorando la porosidad del suelo, la capacidad de retención de humedad y suministro de nutrientes, efecto que se puede observar en las partes bajas donde muy probablemente la acumulación de materiales orgánicos permite que las palmas de estas zonas tengan un desarrollo mejor que las que se ubican en las partes altas susceptibles de pérdida de nutrientes por erosión o lixiviación.

Ahora, si se realiza un análisis del contenido de nitrógeno y conociendo que este depende entre otros del contenido de la materia orgánica, en suelos tropicales el Nitrógeno del suelo debe estar entre 0.1% y 0.4% para el normal desarrollo de los cultivos entre los cuales encontramos a la palma de aceite<sup>68</sup>.

De acuerdo a lo afirmado por Ollagnier y descrito anteriormente, esta situación se puede estar presentando en el área investigada, debido a que el contenido de Materia Orgánica que presentó un promedio de 6.32% (Anexo D) se encuentra en un rango medio-alto; por consiguiente y de igual manera el contenido de Nitrógeno en el Suelo que presentó un valor promedio de 0.28% (Anexo D); de acuerdo a estos resultados obtenidos las condiciones son favorables para el cultivo de palma, además, permite realizar un manejo agronómico adecuado y eficaz con fuentes orgánicas de nitrógeno como raquis, lodos, cobertura y fuentes minerales que suplan las deficiencias de las áreas donde hay menor concentración de este

---

<sup>66</sup> NAVA Et al, 1966 citados por LEON, L.A. Los elementos maores Nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo. IN Seminario taller Fundamentos para la interpretación de Análisis de suelos, plantas y Aguas para Riego. 3° ed. SCCS. Bogota, 2000. pp. 141-163. (memorias).

<sup>67</sup> NAVA Et al, 1966 citados por LEON Op., cit. P. 138.

<sup>68</sup> OLLAGNIER, citado por MONOMEROS. Ibid P. 142

elemento cuando la tasa de mineralización de la materia orgánica es baja (partes altas de la pendiente).

Al respecto, la Empresa Palmas de Tumaco S.A. tiene como práctica de manejo la aplicación del raquis en el plato de la palma como sistema de manejo de problemas de plagas y como adición de materia orgánica; este material al descomponerse aporta materia orgánica y con ella potencialmente Nitrógeno al suelo. De igual forma, la materia orgánica aun cuando en principio se acumula y se mineraliza en forma lenta, puede complementar los aportes nutricionales necesarios para mejorar las producciones

**3.1.2.2 Capacidad de intercambio catiónico del suelo.** Los resultados mostraron una capacidad de intercambio catiónico en el suelo que osciló entre 7.0 meq/100 g de suelo y 21.80 meq/100 g de suelo; su promedio general fue de: 15.22meq/100g de suelo.

En el presente estudio de investigación se observó que los mayores valores de CIC (>21,8 meq/100g) se registraron en las partes alta y media del área evaluada (Cuadro 10) y los valores medios se ubicaron en las tres zonas de pendiente alta, media y baja con rangos entre 10-20 meq/100g (Cuadro 10). Al comparar estos valores con los requerimientos de CIC en cultivos de clima cálido (valores medio-alto 10- 20 meq/100g) podemos establecer que el área bajo estudio se encuentra en condiciones adecuadas para el desarrollo de la palma de aceite.

**Cuadro 9.** Resultados de la distribución de CIC de acuerdo a la zona de pendiente de presente estudio

Ubicación	Nivel de CIC Meq/100g	N <sup>a</sup> Muestras
Parte alta	>20	2
	10-20	38
	< 10	1
Media	>20	2
	10-20	37
	< 10	2
Baja	>20	0
	10-20	38
	< 10	0

La capacidad de intercambio catiónico es importante en el desarrollo del cultivo de palma aceitera, por que determina la capacidad de retención de los cationes (cargas eléctricas positivas), reduciendo la lixiviación de ellos; un parámetro de la CIC en el suelo a tener en cuenta es que debe ser superior a 10 meq/100g para

que un cultivo como la palma de aceite se desarrolle en forma normal, valores inferiores conllevan a que se necesite adicionar fertilizantes granulados y manejo con residuos de cosecha<sup>69</sup>.

Además es importante destacar que la CIC depende del contenido de arcilla y de materia orgánica, por tanto los suelos con mayores contenidos de arcillas y materia orgánica, presentarán valores altos de CIC, mientras que suelos arenosos tendrán bajos niveles de CIC<sup>70</sup>. En el presente estudio se puede observar altos contenidos de materia orgánica y áreas de suelo que muestran altos contenidos de arcilla (anexo A) de ahí que se tengan niveles adecuados de CIC en la mayoría de las muestras estudiadas.

La CIC es una propiedad importante en el desarrollo y nutrición de las plantas y en el proceso de fotosíntesis; si existe una buena Capacidad de Intercambio catiónico, habrá una buena disponibilidad de los nutrientes en el suelo lo cual se verá reflejado en el desarrollo del cultivo<sup>71</sup>.

En un buen plan de fertilización se debe tener en cuenta esta característica, para no perder el fertilizante por lixiviación, para realizar una buena nutrición vegetal y obtener una buena disponibilidad de nutrientes en el suelo. Se debe tener una Capacidad de Intercambio Catiónico alta superior a 10 meq/100 g de suelo, que pueda retener los cationes provenientes de la meteorización y fertilización para evitar así su pérdida por lixiviación. En suelos tropicales una CIC menor a 4 meq/100g de suelo podrían causar grandes pérdidas por lavado de nutrientes<sup>72</sup>.

De esta forma en la investigación realizada en la empresa Palmas de Tumaco, se observa que se tienen porcentajes adecuados de CIC los cuales posibilitan el retener los iones de cambio procedentes de la meteorización y de la fertilización y de esta forma evitar su pérdida por lixiviación. Además en las partes donde se dan porcentajes bajos de CIC es posible aumentarla si se hace un manejo agronómico buscando aumentar el pH con cales dolomitas y coberturas orgánicas (raquis, residuos de cosecha).

Al respecto y para mejorar la CIC en las áreas de estudio que presentaron bajo CIC, GALIANO (2000) establece dos formas de aumentarla<sup>73</sup>.

---

<sup>69</sup> OLIVIN, J. Etude pour la localisation D´ bluc industriel de palmiers al´ Huile Oleagineux. Citado por OWEN. Fertilización de la palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq) Bogotá, 1995. p., 33.

<sup>70</sup> CANCHANO, Op., cit. P. 146

<sup>71</sup> BURBANO, H. VIVEROS, M.A. Diagnóstico, Fertilidad de Interpretación del Análisis de Suelos. Pasto: Colombia. Universidad de Nariño, 1988. p. 10.

<sup>72</sup> FASSBENDER, H y BORNEMISZA, E. Química de Suelos, con Énfasis en Suelos de América Latina. 2 ed. San José: Costa Rica, IICA, 1987. p. 69.

<sup>73</sup> GALIANO, F. Capacidad De intercambio catiónico y aniónico bases de cambio y saturaciones. In. Seminario taller Fundamentos para la interpretación de Análisis de suelos, plantas y Aguas para Riego. 3° ed. SCCS. Bogota, 2000. pp. 164-185 (memorias).



1. Como estos suelen tener un pH ácido, al aumentar el pH se genera una CIC adicional –la dependiente del pH- lo cual se consigue, en los suelos con sistemas de óxidos o de silicatos laminares revestidos de óxidos, con encalamiento, preferiblemente con dolomita, para adicionar también magnesio, que suele ser deficiente. En estos suelos el encalamiento debe efectuarse hasta pH de 5.5 o 6.0, pues encalamientos más altos pueden producir desequilibrios catiónicos.

2. En los suelos con bajo contenido de materia orgánica, la adición de esta aumentará en gran manera la CIC. La adición conjunta de cal y materia orgánica será más efectiva, por la capacidad dependiente del pH de esta última<sup>74</sup>.

La CIC, la definen las cargas eléctricas negativas de los coloides del suelo formados por la materia orgánica (MO) y las arcillas. A mayor contenido de MO y arcilla, mayor será la CIC del suelo. La CIC determina la capacidad de los suelos para retener cationes (cargas eléctricas positivas), reduciendo la lixiviación<sup>75</sup>.

**3.1.2.3 Densidad Aparente.** La Densidad Aparente presenta una variabilidad significativa de acuerdo a su relación en el suelo la cual osciló entre 0.7 y 1.1 g/cm<sup>3</sup> con un promedio general de 0.87g/cm<sup>3</sup> (Anexo D). Este valor se considera como favorable para desarrollo del cultivo de palma aceitera.

En el presente estudio se observó que los mayores valores registrados en la densidad aparente se ubicaron en la parte baja del estudio con valores que oscilaron entre 0.9 y 1.1 g/cm<sup>3</sup>, el área con menor Densidad aparente estuvo ubicada en la parte alta del presente estudio con valores que se ubicaron entre 0.7 y 0.8 g/cm<sup>3</sup> (Cuadro 11).

Los resultados encontrados y presentados en el cuadro 11, pueden deberse al contenido de materia orgánica presente en cada zona, estableciendo un grado de correlación inversa entre la materia orgánica y la densidad aparente, dado que en la zona donde se registran los contenidos más altos de materia orgánica, se observa la menor densidad aparente (Anexo A). Los resultados encontrados son corroborados por El grupo Bioquímico mexicano quienes afirman que el alto contenido de materia orgánica influye inversamente sobre la densidad aparente es decir, que a mayor contenido de materia orgánica en el suelo disminuye la densidad aparente<sup>76</sup>.

---

74ROJAS, A. Criterios en la interpretación del análisis mineralógico de arcillas. In. Seminario –Taller fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo, Santafé de Bogotá, 2000. pp. 47-95 (memorias)

75ACOSTA, A. Fase operativa de un programa de fertilización. In. Primer curso internacional de Palma de Aceite. CENIPALMA, Santafe de Bogota. 1996. pp. 179-200. (Memorias).

76GRUPO BIOQUIMICO MEXICANO. Manual de promoción y ventas. Principios de nutrición vegetal. Bogotá D.C. 2002. 32p.



**Cuadro 10.** Resultados de la distribución de densidad aparente de acuerdo a la zona de pendiente del presente estudio

Ubicación	Nivel de Da	N <sup>a</sup> Muestras
Parte alta	> 1 g/cc	1
	0,9-1 gr/cc	13
	< 0,9	27
Media	> 1 g/cc	2
	0,9-1 g/cc	21
	< 0,9	18
Baja	> 1 g/cc	2
	0,9-1 g/cc	26
	< 0,9	10

Además, la densidad aparente está influenciada por la estructura, la textura y la compactabilidad del suelo. La densidad aparente es un parámetro básico para poder estimar el peso de una hectárea; por lo tanto, su conocimiento es fundamental cuando se realiza el plan de fertilización en un cultivo de palma africana<sup>77</sup>.

Las densidades aparentes, a pesar de verse afectadas por las labores agrícolas en algunos horizontes A (Ap), permiten demostrar los factores que las determinan, a saber: contenidos de materiales orgánicos, textura y origen del suelo; especialmente referido a sus materiales de origen (orgánicos, piroclásticos, arcillosos, etc.)<sup>78</sup>; para el caso del presente estudio, se puede observar que el manejo de los residuos vegetales que se realiza en la Empresa Palmas de Tumaco, posiblemente puede estar contribuyendo para que esta área presente densidades aparentes que permitan el desarrollo normal del cultivo.

<sup>77</sup>BAVER, L. GARDNER, W. GARDNER, W. Física de Suelos. Trad. del inglés por Jorge Manuel Rodríguez y Rodríguez. México: U.T.E.H.A., 1973. pp.169.

<sup>78</sup>MONTENEGRO, H. Interpretación de las propiedades físicas del suelo (Textura, Estructura, Densidad, aireación, etc.). Seminario taller Fundamentos para la interpretación de Análisis de suelos, plantas y Aguas para Riego. 3° Ed. SCCS. Bogota, 2000. pp. 99-127 (memorias).

Si además de la materia orgánica tenemos en cuenta que en el área bajo estudio algunas zonas presentaron suelos con texturas arenosos y limo arenosos (anexo A), se puede decir que esta condición puede incidir en los mayores o menores valores de Densidad aparente encontrados (Cuadro 11, Anexo A), lo cual ayuda a entender un poco la importancia que toma este aspecto en el manejo agronómico que se establezca con adición de residuos de cosecha, mecanismos de fertilización fraccionada y aquellos que eviten o disminuyan la lixiviación.

**3.1.2.4 Arenas.** De acuerdo con la descripción de variables (Anexo D) el contenido de arena osciló entre el 15% y 85% obteniendo un promedio general de contenido de arena en el área estudiada de 34.92%.

En el presente estudio se pudo observar que si bien existen valores altamente fluctuantes (15-20-30-40-60-70-85%), no se discriminaron por zonas específicas, encontrándose que iguales porcentajes de arenas se pueden dar en la zona alta, media o baja. Para el cultivo de palma africana la textura más equilibrada para un buen desempeño agrícola, afirma el grupo bioquímico mexicano (2002) corresponde a la de suelos francos con una distribución de: arcillas 7 - 27%, limos 28 - 50% y arenas 23 - 65% (Cuadro 12).

Por tanto, la importancia que toman las arenas en el presente estudio se relaciona de su acción al interactuar con los demás nutrientes o características del suelo, por ejemplo los suelos que presentan altos contenidos de arenas y de CIC, deben ser manejados de tal forma que se evite al máximo la lixiviación de las bases intercambiables por la condición textural, ya que las arenas al tener una superficie específica menor y mayor porosidad pueden acumular menor temperatura y con ello se pueden ver afectados los procesos de intercambio de bases, que finalmente afecta la capacidad nutricional del suelo.

**Cuadro 11.** Resultados de la distribución de densidad aparente de acuerdo a la zona de pendiente de presente estudio

Ubicación	% Arenas	N <sup>a</sup> Muestras
Parte alta	> 65%	3
	23-65%	29
	< 23%	9
Media	> 65%	4
	23-65%	32
	< 23%	4
Baja	> 65%	1
	23-65%	20
	< 23%	17

Además, al tener las arenas una mayor capacidad de infiltración puede afectar la CIC, al propiciar mayor susceptibilidad a la lixiviación de nutrientes. De ahí que teniendo conocimiento de esta condición del suelo y su efecto sobre las demás características del suelo, es posible que se logre un mejor manejo del suelo que repercute en el desarrollo de la palma y su incremento en la producción de fruto fresco.

La distribución de partículas por tamaño constituye, una de las características más importantes para el suelo, por cuanto afecta innumerables propiedades de los suelos, entre ella: la superficie específica, consistencia y temperatura, en asocio con la estructura, la porosidad, velocidad de infiltración, conductividad hidráulica, las cuales permiten la mayor o menor disponibilidad de los nutrientes del suelo para la palma de aceite<sup>79</sup>.

Para realizar una buena nutrición de la palma de aceite, es importante tener en cuenta las propiedades físicas de los suelos, y entre ellas la textura con su porcentaje de arena, ya que es posible que se presente una pérdida por lixiviación de nutrientes a causa de un alto contenido de las mismas<sup>80</sup>. (MARSCHNER, 1986).

Los suelos con predominancias de arenas tienen la ventaja de poseer propiedades adecuadas para hacer preparación, absorben y conducen el agua a través del perfil en forma muy rápida y permiten una buena aireación y filtración del agua. Sin embargo, pueden presentar problemas por erosión hídrica, en condiciones de alta precipitación; además pueden presentar problemas con lavado de nutrientes y pueden presentar baja fertilidad natural, baja retención de humedad, entre otras<sup>81</sup>.

Según las afirmaciones anteriores la mayoría de los suelos del área investigada (70%) y teniendo en cuenta el porcentaje de arenas en cada muestra (anexo A, cuadro 12), el suelo no presenta limitaciones para el desarrollo de la palma de aceite, permitiendo buena retención agua, aireación y difusión de gases en el cultivo.

Teniendo en cuenta las observaciones anteriores, se pueden mejorar la condición nutricional del suelo, conociendo el porcentaje de arenas, si se realiza

---

<sup>79</sup>ACOSTA, 1996, Op., cit. P. 188.

<sup>80</sup>MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, New York, 1986. 549 p.

<sup>81</sup>TROUSE, A.C. Y HUMBERT, R.P. Some effects of soil compaction for crops. CIAT.SCCS. Bogotá, 1988. P. 106.

fraccionamiento de la fertilización, aplicando la dosis requerida para evitar la lixiviación y pérdida de nutrientes por lavado; afirmaciones corroboradas por Canchano (1995) en el estudio de las propiedades físicas de los suelos aptos para el cultivo de palma de aceite.

**3.1.2.5 Aluminio del suelo.** En el anexo D se puede observar que el contenido de aluminio en el suelo presentó una variación que osciló entre 0.10 a 3 meq/100g de suelo y un promedio general de 1.35 meq/100g de suelo lo que conllevó a presentar una gran variación en el pH entre 3.80 y 5.20 obteniendo un promedio general del pH de 4.47. Así mismo, se observó que los valores más altos de aluminio se encontraron en las partes alta y media (1-3 meq/100g) y en la zona baja se ubicaron los menores valores de aluminio del suelo (< 1 meq/100 g), además los valores de pH se relacionaron con los valores de aluminio encontrados es decir que en la parte baja se encontraron el mayor número de muestras con niveles de pH más altos (4.7 - 5.2) y en la parte alta y media el mayor número de muestras con los valores de pH más bajos (Cuadro 13).

Dados los resultados anteriores se puede destacar la influencia ejercida por el aluminio en la disponibilidad de los nutrientes, es probable que los valores más altos registrados en la zona alta conlleven a la pérdida de las bases cambiables, potasio, calcio, magnesio entre otros, por el poder de desplazamiento que tiene el aluminio y la capacidad de formar compuestos insolubles con estos, los cuales no son disponibles para la planta, aun cuando se tengan buenos contenidos de materia orgánica. La baja disponibilidad de los nutrientes en presencia de aluminio podría generar en las palmas deficiencias nutricionales y desarrollo lento que impide obtener producciones óptimas.

**Cuadro 12.** Resultados de la distribución de Aluminio y pH de acuerdo a la zona de pendiente de presente estudio

Ubicación	Aluminio meq/100 gs	N <sup>a</sup> Muestras	pH	N <sup>a</sup> Muestras
Parte alta	> 2	5	> 4,5	12
	1 a 2	34	4 - 4,5	26
	< 1	2	< 4,0	3
Media	> 2	8	> 4,5	9
	1 a 2	27	4 - 4,5	31
	< 1	6	< 4,0	1
Baja	> 2	1	> 4,5	21
	1 a 2	22	4 - 4,5	16
	< 1	15	< 4,0	1

La acidez que se genera por presencia de Aluminio monomérico intercambiable, por hidrólisis de aluminio polimérico y/o por pérdida de cationes básicos, como calcio, magnesio y potasio, evita la producción y desarrollo normal de los cultivos, requiriéndose la neutralización del aluminio con enmiendas magnésicas que mejoren esta condición en forma temporal<sup>82</sup>.

Con base a lo anterior, los contenidos de aluminio de las partes altas y media del área de estudio (Cuadro 13, anexo A) pueden estar afectando la disponibilidad de las bases como Calcio, Magnesio y Potasio; lo cual podría explicar las deficiencias severas encontradas en la parte foliar de las plantas localizadas en la parte alta y media del área de estudio, ya que la toma de nutrientes por las raíces se estaría viendo afectada por la presencia de aluminio, impidiendo el desarrollo normal y muy posiblemente afectando la producción de la palma aceitera.

La acidez del suelo está íntimamente relacionada, principalmente, con la presencia de aluminio intercambiable, la necesidad de enclavamiento, los bajos contenidos de algunos elementos y adicionalmente, con la poca disponibilidad de fósforo, potasio, calcio, magnesio y nitrógenos. De hecho se ha observado que gran parte de los elementos esenciales para la nutrición mineral y de cultivos como la palma de aceite se comportan mejor en suelos cuyo pH está cercano a la neutralidad<sup>83</sup>.

Lo anteriormente expuesto, se puede relacionar con la presente investigación dado que se encontraron algunos lotes con un contenido de Aluminio superior a 2 meq/100g de suelo, pH ácido, que puede contribuir a una disminución de la disponibilidad de algunos elementos o nutrientes, de ahí que se encuentren altas deficiencias de fósforo, muy posiblemente por la capacidad de adsorción del aluminio, que impide la mayor disponibilidad del fósforo; además deficiencias de bases como calcio y magnesio (Anexo A).

En la presente investigación sobre las áreas alta y media se encuentran palmas con bajo desarrollo fisiológico que pueden deberse a la acción del aluminio como agente tóxico e inhibidor de crecimiento.

Condiciones similares a las reportadas en el presente estudio son citadas por Salinas (1988) el cual explica que por acción del aluminio con niveles mayores a 1.5 meq/100 g de suelo y porcentajes de saturación de aluminio mayores de 30%, pueden causar hasta más de 60% de saturación del  $Al_3$ . Causando daño directo en las raíces e impidiendo la entrada y translocación de calcio y fósforo a los cogollos, inhibición de la división celular, contribuyendo a la precipitación del fósforo sobre la raíz e impidiendo el desarrollo de cultivos.

---

82TROUSE, A.C. Y HUMBERT, R.P. Some effects of soil compaction for crops. Las propiedades físicas y la productividad del suelo. 1988. P. 106.

83NG, S.K. The Oil Palm, its culture, Manuring and utilisation. International Potash Institute, Berne, 1972. 99-145.

Los altos contenidos de aluminio inciden sobre la fijación y solubilidad de los fosfatos, disminuyendo en consecuencia su disponibilidad y aprovechamiento en el suelo por parte de la planta; afectando negativamente la productividad del cultivo<sup>84</sup>. Con base a lo anterior, en el presente trabajo, se encontró que en el 50% de las zonas alta y media el fósforo registra valores inferiores a 15 ppm, que evidencian deficiencias de este nutriente muy probablemente debido a la fijación que sufre este elemento por acción del aluminio.

A medida que el pH es menor de 5.5, también aumenta el contenido de aluminio, hierro y manganeso del suelo, en esas condiciones extremas es frecuente la baja concentración del fósforo nativo del suelo y la formación de fosfatos insolubles que impiden la disponibilidad del fósforo nativo o aplicado en los fertilizantes<sup>85</sup>.

Así mismo, los altos contenidos de aluminio (> 1.5 meq/100 g.) presentes en los suelos de la zona pacífica fijan el Fósforo disponible para el cultivo de palma aceitera formando fosfatos de hierro y aluminio en los primeros estados de precipitación; pero conforme pasa el tiempo, el precipitado se cristaliza paulatinamente hasta volverse totalmente insoluble. Cuando la cristalización es total, se forman precipitados cristalinos, explicando así la disminución en la disponibilidad de Fósforo en suelos ácidos. Además que el Fósforo fijado no es removido del sistema suelo<sup>86</sup>.

Los resultados encontrados en la presente investigación respecto al posible efecto del aluminio sobre el desarrollo y producción de las palmas localizadas en la parte alta y media puede suponer que las afirmaciones de Guerrero (2000) el cual establece que los suelos de la región pacífica, muestran propiedades ocasionadas en gran parte por materiales parentales ácidos, climas lluviosos y relieve ondulado o levemente convexo, han conducido a la pérdida de bases y a la acidificación de los suelos.

---

<sup>84</sup>FASSBENDER, H y BORNEMISZA, E., Op., cit. P. 46.

<sup>85</sup>GUERRERO, R. Op., cit. P. 129.

<sup>86</sup>SHARPLEY, J Y BOUL, L. Importancia de las arcillas en la nutrición del suelo. In. Seminario –Taller fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo, Santafé de Bogotá, 2000. pp. 23-35 (memorias)

### 3.2 CORRELACION ENTRE LAS VARIABLES ANALIZADAS.

El anexo E muestra las correlaciones entre las 31 variables analizadas en el presente estudio, determinando el grado de correspondencia entre ellas; de las cuales las que presentaron valores positivos más cercanos a uno están positivamente correlacionadas entre sí. En forma similar las variables que tienen valores negativos más cercanos a -1 están correlacionadas en forma inversa.

Entre las 31 variables analizadas (Anexo E), se pueden tener en cuenta las correlaciones directas entre MO-N; MO-CIC; Fe foliar-Edad; Mg foliar-Cu foliar y correlación inversa entre las variables pH-Al.

Los altos contenidos de materia orgánica que por ende están contribuyendo a que se tengan contenidos de nitrógeno adecuados, se pueden explicar si tenemos en cuenta que la Empresa palmas de Tumaco S. A. realiza aplicaciones de raquis, residuos de cosecha y mantiene coberturas de kutzu sobre el suelo, lo cual incrementa el aporte de materia orgánica; además se cuenta con los residuos de cosecha, siembra de coberturas leguminosas, que están aportando niveles de nitrógeno al suelo.

El manejo que se haga de la materia orgánica en la plantación, debe tener en cuenta la importancia del nitrógeno para la palma de aceite ya que este nutriente promueve la emisión de hojas, el color de las mismas, la tasa de asimilación neta y el índice de área foliar (IAF); Al respecto Munevar (2000), afirma que las deficiencias se acentúan cuando estas se producen en suelos arenosos, con demasiado sombrío y pobre cobertura. Sin embargo, el exceso de nitrógeno es perjudicial, porque en palmas jóvenes puede inducir el mal de juventud, pudriciones de flecha y en palmas de más de cuatro años puede reprimir la producción de fruto<sup>87</sup>.

Otra relación a tener en cuenta estuvo a cargo de aluminio del suelo y pH las cuales presentaron una correlación de -0.70 (Anexo E); demostrado que los contenidos de óxidos de hierro y aluminio de estos suelos pueden estar incidiendo sobre el comportamiento del pH; es decir, que a medida que aumenta el contenido de Aluminio en el suelo aumentan los niveles de pH y con ello la acidez del suelo.

Al respecto, es muy importante tener en cuenta que aun cuando la palma de aceite es tolerante a la acidez del suelo, dado que este cultivo tiene la habilidad o aptitud para crecer y producir rendimientos adecuados bajo estas condiciones de pH (<4.5 á > 5.0 Sánchez y salinas, 1983)<sup>88</sup>; el manejo que se haga de esta condición de acidez del suelo, permitirá mejorar las producciones de fruta; este

---

<sup>87</sup>MUNEVAR, 2001. Op., cit. P. 13

<sup>88</sup>SÁNCHEZ, P.A y SALINAS J.G. Suelos ácidos-Estrategias para su manejo con bajos insumos en América Tropical. Univ. Carolina Norte CIAT-SCCS. Bogotá, 1983. sp.

manejo debe incluir entre otros el aporte de sales ricas en magnesio, las cuales conllevan a disminuir la acidez y mejoren la disponibilidad de nutrientes como el fósforo, el nitrógeno, el potasio, calcio, magnesio entre otros; sin olvidar, los aportes de materia orgánica, dado que si no se hace un manejo armónico de la parte física, química y biológica, es muy probable que los contenidos de materia orgánica en el suelo incrementen la acidez conllevando a que se den procesos de lixiviación de nutrientes del suelo y se incremente la tasa de mineralización de materia orgánica, de forma que los contenidos de la misma disminuyan y los suelos sufran fenómenos de alta acidez y pobreza nutricional<sup>89</sup>.

En el anexo E se presenta una tercera correlación entre la capacidad de intercambio catiónico y la materia orgánica con un valor de 0.51. Esto conlleva a establecer que los coloides orgánicos están contribuyendo de forma importante a aportar cargas negativas que permiten el intercambio catiónico.

Los contenidos altos de MO, toman importancia en su aporte a la CIC del suelo ya que se incrementa en forma importante contribuyendo a mejorar la nutrición del suelo<sup>90</sup>.

La materia orgánica es muy importante en la generación de la CIC, por tanto es muy probable que cuando hay cantidades adecuadas de materia orgánica la CIC que se presente, permita que las bases intercambiables puedan ser retenidas y de esta forma las pérdidas por lixiviación o fijación sean menores; mejorando la disponibilidad nutritiva para la palma de aceite.

El 50% de la capacidad de intercambio catiónico en el suelo se debe a la presencia de materia orgánica, por lo que se considera que un suelo de buena fertilidad para el cultivo de palma africana, es aquel que presenta un alto contenido de materia orgánica es decir superior al 4%<sup>91</sup>. Con base a las afirmaciones anteriores se puede decir que estos suelos presentan contenidos altos de materia orgánica (Cuadro 3) y que por tanto se pueden lograr un mayor desarrollo fisiológico de la palma, manejando en conjunto los niveles nutricionales del suelo.

---

<sup>89</sup> GUERRERO, 1990 Op., cit. P. 128.

<sup>90</sup> GRUPO BIOQUIMICO MEXICANO, Op., cit. P. 26

<sup>91</sup> GRUPO BIOQUIMICO MEXICANO, Ibid. P. 24



### 3.3 CLASIFICACIÓN JERÁRQUICA DE LOS LOTES EN SIETE CLASES

Con las 31 variables y las 120 muestras tomadas, se elaboró una clasificación jerárquica. Teniendo en cuenta las distancias de Ward previa normalización de los datos en el programa (Spad 3.5). El modelo de agrupamiento observado (Figura 2) permitió la clasificación de las 120 muestras en siete grupos o cluster bien definidos, teniendo en cuenta la mayor homogeneidad dentro de los grupos como contenido nutricional edáfico, estado de nutrición de la planta, textura y altura de acuerdo a la pendiente.

#### 3.3.1 Clase uno

En esta clase se encuentran agrupadas 35 muestras (Figura 4) que representaron el 29.16% de la población total (120 muestras). Se encontró que el 34.28% de las muestras se encuentran ubicadas en la parte alta de los lotes, un porcentaje similar en la parte media y el 31.42% en la parte baja. (Anexo F, Figura 4)

Esta clase se diferencia de las demás por presentar un contenido de limos alto (54.59%) respecto a las demás clases (47.88% promedio general) (Anexo F).

Un contenido entre 28-50 % del contenido de limos, en suelos tropicales como los de la zona pacífica, son favorables para el cultivo de palma aceitera; contenidos superiores a este intervalo significan una mejor aireación, permitiendo el desarrollo de las raíces de las plantas en el suelo<sup>92</sup>.

Dentro de esta clase se encontró que variables del suelo como Calcio (CAS) con 0.76 meq/100gm, Boro (BS) 0.55 ppm, Cobre (CUS) 0.37 ppm, Fósforo (PS) 33.7 ppm, Porcentaje de Arcillas (ARC) 9.73% y Zinc (ZNS) 0.19 ppm presentaron un valor que está por debajo del promedio general de cada una de las variables (Anexo F).

De las variables anteriores se puede afirmar que a nivel del suelo, el boro (BS), el fósforo (PS) y la textura a pesar de tener valores inferiores al promedio general (Anexo F), están dentro del rango favorable de los requerimientos nutricionales y físicos del cultivo de la palma aceitera (Cuadro 1 y 3).

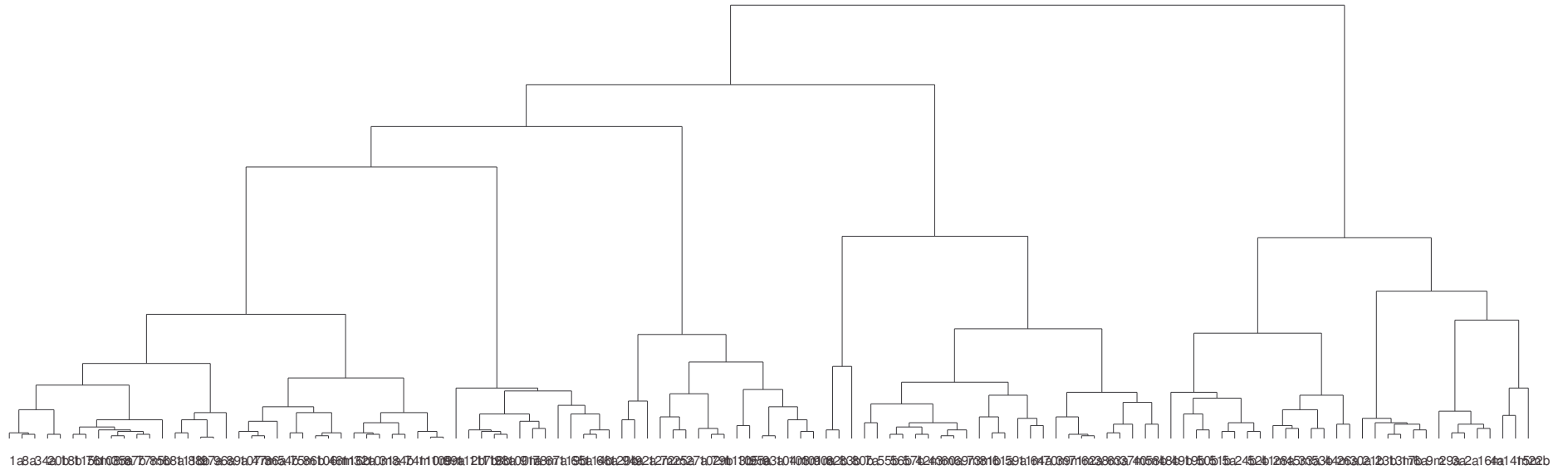
En esta clase se destaca que variables del suelo como Calcio (CAS), boro, cobre (CUS) y Zinc (ZNS) se encontraron por debajo del promedio general (Anexo F) y de los requerimientos del cultivo, lo cual puede estar afectando el desarrollo normal de las palmas (Cuadro 3), (figura 4, anexo A).

---

<sup>92</sup>FAIRHURST, T. Síntomas de Deficiencias de Nutrientes y Desordenes en Palma de Aceite. En: Guía de Bolsillo, Instituto de la Potasa y el Fósforo. Singapur, 1998. 23 p.

**Figura 2. Clasificación jerárquica de los lotes en siete clases**

Classification hierarchique directe



GRUPO1			GRUPO2			GRUPO3			GRUPO4			GRUPO5			GRUPO6			GRUPO7		
PARIE	PARIE	PARIE	PARIE	PARIE	PARIE	PARIE	PARIE	PARIE	PARIE	PARIE	PARIE	PARIE	PARIE	PARIE	PARIE	PARIE	PARIE	PARIE	PARIE	
ALTA	MEDIA	BAJA	ALTA	MEDIA	BAJA	ALTA	MEDIA	BAJA	ALTA	MEDIA	BAJA	ALTA	MEDIA	BAJA	ALTA	MEDIA	BAJA	ALTA	MEDIA	BAJA
1	76	20	98	100	112	94	12	79			82	7	42	55	5	41	49	6	13	21
8	108	18	91	78	117	92	72	113			88	60	48	56	28	46	19	29	9	23
34	77	115	67		118	25	102			80	61	69	57	38	44	50		3	16	17
35	107	87	65		119	27	105				59	73	81	26		51		2	14	22
68	47	85	66		114	95	104				64	11	58	30		24		4		15
97	75	111			120	98	103				62	70	48			52				
96	106	88				90	101				63	39				53				
89	76	54										71								
36	10	86										38								
32	74	116										37								
31	110	84										40								
99		109																		

Teniendo en cuenta el bajo contenido de Calcio en el suelo que presenta esta clase (0.76 meq/100 g, Anexo F), cuya condición puede influir sobre el bajo contenido a nivel foliar (0.58%), el cual se encuentra en contenidos deficientes para el normal desarrollo de la palma de aceite (cuadros 3 y 4). Estas condiciones de deficiencias pueden conllevar a que las palmas tengan un crecimiento más lento y presenten menor productividad.

Las deficiencias de calcio afectan de manera importante el rendimiento del cultivo. El calcio se requiere para la elongación y la división celular<sup>93</sup>; además el calcio es determinante en la estructura de la membrana celular<sup>94</sup>.

El contenido de calcio en la palma africana se correlaciona significativamente con el número de inflorescencias femeninas y con el peso de racimo; es decir que si en el momento de la formación de las inflorescencias existe un nivel adecuado de calcio en la planta, se esperaría una buena formación del fruto y producción por parte de la misma<sup>95</sup>.

Es probable que los bajos niveles de calcio (Anexos A y F) encontrados en la presente investigación tengan su respuesta en la acción que ejerce la precipitación de la región (mayor a 2500 mm) sobre la pérdida de este nutriente así como de otros micronutrientes esenciales que se encuentran por debajo de los requerimientos del cultivo; algunos estudios realizados en la región pacífica indican que las temporadas de alta precipitación mayor de 2000 mm anuales, sean posiblemente una de las causantes de que haya pérdidas de estos elementos por lixiviación o lavado<sup>96</sup>.

Continuando con el análisis de resultados y los requerimientos del cultivo en el suelo (Cuadro 3), los contenidos de cobre (CUS), boro y el Zinc (ZNS) en el suelo se encuentran en niveles que son deficientes para el desarrollo del cultivo (Anexo F). Al respecto Brown et al, 1977 citado por Mengel y Kirkby, 2000 observaron que cuando un cultivo presenta deficiencias de un elemento mayor, se torna más susceptible a la deficiencia de Cobre, Hierro, boro o Zinc. Así como pueden afectarse por el contenido de materia orgánica, la tasa de mineralización y el alto grado de acidez que presenten los suelos<sup>97</sup>; de esta forma se podría entender que esta condición puede estar ocurriendo con los lotes que se encuentran en esta clase (Anexo F).

---

<sup>93</sup>Bustrom, 1968 citado MENGEL, K y KIRKBY, E.A. Principios de Nutrición vegetal. 4° edición. Internacional Potash Institute, Basel (Suiza), 2000. 603p.

<sup>94</sup>Dickinson, 1967; Roland y Véosles, 1968; citados por MENGEL y KIRKBY, E.A. Principios de nutrición vegetal. 4° edición. Internacional Potash Institute, Basel (Suiza). 2000. 603p.

<sup>95</sup>OWEN, Op., cit. P. 28

<sup>96</sup>SÁNCHEZ, P.A y SALINAS J.G. Suelos ácidos-Estrategias para su manejo con bajos insumos en América Tropical. Univ. Carolina Norte CIAT-SCCS. Bogotá, 1983. sp.

<sup>97</sup>BROWN Et al, 1968 citado MENGEL, K y KIRKBY, E.A. Principios de Nutrición vegetal. 4° edición. Internacional Potash Institute, Basel (Suiza), 2000. 603p.

El Zinc y el Cobre son elementos que en el suelo presentan sinergismo entre sí, además son nutrientes que su influencia radica en la participación de procesos metabólicos de las plantas como la síntesis de proteínas y carbohidratos esenciales para su normal desempeño como cultivo<sup>98</sup>.

El Anexo H, demuestra que la zona cuatro con un porcentaje de participación del 34.30% del área, es la más influenciada por las variables anteriormente mencionadas de las cuales se deben destacar el Calcio, el cobre, el boro y el Zinc; Como las que más pueden afectar al cultivo por su nivel bajo y dentro de esta zona, se presentan estas características se presentaron en las tres pendientes (parte alta, media y baja).

Es importante destacar que la clase uno se diferencia de las demás por que presenta niveles deficientes de nutrientes como el calcio, boro, cobre y zinc, es decir, que las palmas presentes en este grupo de suelos puede presentar desarrollo fisiológico lento debido a la carencia de dichos elementos esenciales; cuya condición en esta clase, fue más predominante en las partes alta y media de la pendiente.

### **3.3.2 Clase dos**

En el Anexo F se puede observar la clase dos conformada por 13 muestras correspondiente al 10.83% de la población total (120 muestras - Figura 4). En este grupo el 46,15% de los lotes se encuentran en la parte baja, el 38.46% en la parte alta y el 15.83% en la parte media. Los Porcentajes de Arcilla (65%) y Potasio (1.23%) presentaron los niveles mas altos respecto al promedio general de las siete clases (17.21 y 1.11% respectivamente) (Anexo F).

De igual forma, teniendo en cuenta los requerimientos del cultivo (Cuadro 4), se puede apreciar que estos valores (% arcilla y potasio Anexo F) pueden ser favorables para el desarrollo y producción del cultivo de palma aceitera; condición que se encontró en la mayoría de las muestras ubicadas en la parte baja de la pendiente de las muestras que conformaron esta clase; es decir, que en la parte baja de alguna forma, la palma tiene la posibilidad de absorber una cantidad tal de potasio del suelo que se traduce en mayor concentración a nivel foliar, de ahí que algunas palmas puedan tener mejor desarrollo fisiológico en las partes bajas de la pendiente.

---

<sup>98</sup>GRUPO BIOQUIMICO MEXICANO, Op., cit. P. 26

En la liberación por parte de las arcillas de iones considerados como nutrimentos, el potasio es el caso de más importancia agrícola. Este elemento es liberado gradualmente de los espacios interlaminares de las arcillas, el proceso viene acompañado de la entrada de moléculas de agua y otros iones ocasionando expansión del espacio interlaminar, aumentando la superficie específica, la carga y la CIC, con ello mejorando el crecimiento y desarrollo del cultivo<sup>99</sup>. Lo anterior puede estar sucediendo en la presente investigación ya que el mayor contenido de arcilla puede contribuir para que aumente la disponibilidad de potasio en el suelo y permita que exista mayor absorción y acumulación a nivel foliar.

Lo anterior concuerda con resultados de trabajos que han demostrado una alta dependencia del contenido de potasio y el material arcilloso. Sharpley y Boul, 2000 trabajando con suelos de diferente mineralogía dedujeron que existe una relación muy estrecha entre el potasio intercambiable y la taxonomía del suelo<sup>100</sup>.

En otros trabajos, se ha mostrado que el potasio en diferentes formas (soluble en agua, intercambiable y total) depende directamente de la cantidad de arcilla presente en el suelo y de su composición<sup>101</sup>.

El contenido de Potasio en la palma, es de gran importancia para el desarrollo del cultivo por que está involucrado en el proceso de la fotosíntesis, regulando la síntesis de proteínas y mejorando la formación y peso del racimo, contribuyendo así directa y positivamente en la productividad de la planta<sup>102</sup>.

De otra parte, en la Clase dos, tanto el calcio (CAF) con 0.58%, el hierro (FES) con 22.19 ppm, el porcentaje de Arenas (ARE) 20% como el porcentaje de limos (LIM) 15% son variables que presentaron valores inferiores al promedio general de las siete clases (Anexo F); sin embargo, el contenido de Hierro del suelo (FES) alcanzado en esta categoría, se encuentra dentro de los niveles adecuados para el desarrollo del cultivo de la palma de aceite (Cuadro 3 y 4).

En esta clase y en la uno podemos apreciar que el contenido de Calcio Foliar (CAF) se encuentra en un nivel bajo, según los requerimientos de cultivo (Cuadros 3 y 4) y esta deficiencia se observó en el 53.84% del total de lotes que agrupan la zona dos los cuales están sobre la partes altas y media de la clase. De esta, forma se puede observar que los lotes que presentan bajas concentraciones de

---

<sup>99</sup>ROJAS, A. Criterios en la interpretación del análisis mineralógico de arcillas. In. Seminario –Taller fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo, Santafé de Bogotá, 2000. pp. 47-95 (memorias)

<sup>100</sup>SHARPLEY, J Y BOUL, L. Importancia de las arcillas en la nutrición del suelo. In. Seminario –Taller fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo, Santafé de Bogotá, 2000. pp. 23-35 (memorias).

<sup>101</sup>GRUPO BIOQUIMICO MEXICANO, Op., cit. P. 28.

<sup>102</sup>TANQUE, M. Studies of the Characteristics of Some Soils Under Oil Palm in Saban, Departament of Agriculture. In: Tenchnical Bulletin No. 5. (Sabah: Malaysia, 1982). P. 69

calcio muy posiblemente no tendrán desarrollo normal, por tanto el crecimiento y producción se verán afectados.

Respecto a la importancia del calcio en los cultivos se ha encontrado que la tasa de traslocación descendente del calcio es muy baja ya que el calcio se transporta en concentraciones muy bajas en el floema<sup>103</sup>. El calcio se precipita como fosfato de calcio en la savia del floema y no puede por lo tanto traslocarse<sup>104</sup>. Contrario a lo anterior los niveles extremadamente bajos de calcio en la savia del floema resultan de una acumulación de calcio en las células que rodean al floema<sup>105</sup>.

Como resultado de la baja concentración de calcio en el floema, todos los órganos de la planta que son provistos ampliamente con nutrientes contenidos en dicha savia son bastante pobres en calcio. Mientras que por otra parte, los contenidos de potasio en estos órganos son relativamente altos, debido a que el potasio se presenta en la savia del floema en cantidades abundantes<sup>106</sup>.

Analizando los resultados de arenas y limos que se registran en la clase dos (Anexo F) se puede observar que los suelos de esta clase son predominantemente arcillosos; que requieren tener especial cuidado en el manejo de la aireación y fertilización de las palmas.

Por lo general, los suelos con altos contenidos de arcillas y bajos contenidos de arenas tienen aireación limitada y con drenaje interno poco adecuado; lo anterior puede traer como consecuencia la falta de oxígeno a altura radial y el pobre desarrollo de la palma<sup>107</sup>.

Esta clase se diferencia de las demás porque presenta un alto porcentaje de arcillas y bajos niveles de calcio (Anexo F), incluso por debajo de los requerimientos de la palma de aceite (cuadros 2 y 3). Estas condiciones se presentaron en un alto porcentaje de la parte baja de la pendiente (46,15% de los lotes Figura 4).

---

<sup>103</sup> LEON, L.A. Evaluación de la fertilidad del suelo. In. Fertilidad de suelos Diagnóstico y control. Nueva edición. SCCS. Santafé de Bogotá, 1998. pp. 155-186.

<sup>104</sup> GOOR Y WIERSMAN, 1973 citados por MENGEL, K y KIRKBY, E.A. Principios de Nutrición vegetal. 4° edición. Internacional Potash Institute, Basel (Suiza), 2000. 603p.

<sup>105</sup> MARCHANER, 1974. citado por MENGEL, K y KIRKBY, E.A. Principios de Nutrición vegetal. 4° edición. Internacional Potash Institute, Basel (Suiza), 2000. 603p.

<sup>106</sup> MENGEL, K y KIRKBY, E.A. Op., cit. P. 449.

<sup>107</sup> CANCHANO, Op., cit. P. 127

### 3.3.3 Clase tres

La clase tres se encuentra conformada por 16 muestras que representaron el 13.3% de la población total, de los cuales el 87.5% de los lotes se ubicaron en las partes altas y media de la pendiente (Figura 4). Las variables de nitrógeno (NS) con 0.36%, Materia orgánica (MO) 8.69%, calcio (CAS) 3.43meq/100g de suelo, boro (BF) 14.89 ppm, capacidad de intercambio catiónico (CIC) 17.19 meq/100g y porcentaje de arenas (ARE) 44.37% presentaron un valor superior con respecto al promedio general de las 7 clases en cada una de las anteriores variables (Anexo F).

Los valores de las variables como Calcio (CAS), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y porcentaje de Arenas (ARE), se encuentran dentro de los niveles adecuados para el cultivo (Cuadro 2), es decir que estas variables contribuirían al normal desarrollo de la palma aceitera.

Sin embargo, si se analiza que los valores del contenido de Nitrógeno (NS) y Materia Orgánica (MO) se encuentran en altos niveles (Anexo F), se podría suponer que exista una lenta mineralización, lo que muy posiblemente puede afectar el desarrollo de la palma de aceite, ya que los nutrientes que se derivan de la materia orgánica podrían estar no disponibles en el momento que el cultivo los requiere, generando posibles atrasos en el normal crecimiento de la palma.

En zonas de clima tropical la tasa de mineralización anual es superior al 2%; pero el problema está en que la mineralización no siempre es la misma pues depende de la temperatura y la altitud de la zona donde se encuentra el suelo, donde la mineralización sea más lenta y de esta forma la materia orgánica esté en mayor porcentaje y los niveles de nitrógeno no se encuentren dentro de los rangos que el cultivo requiere para su desarrollo<sup>108</sup>.

También se observó que el bajo nivel de magnesio registrado (0.22%), podría deberse a que los contenidos de magnesio en el suelo son bajos y la palma no tiene la cantidad necesaria cuando lo requiere; además el magnesio puede estar siendo afectado por los altos contenidos de calcio presente en esta clase y que esté inhibiendo la absorción del magnesio y con ello se estén presentando deficiencias; este aspecto tubo mayor relevancia en las partes alta y media de la pendiente (Figura 4) donde se registraron los menores valores respecto a la concentración de magnesio (Anexo F).

La disponibilidad del magnesio se puede ver afectada entre otros por los contenidos de materia orgánica en el suelo, la tasa de mineralización, la relación calcio-magnesio, el pH y la capacidad de absorción por parte de la planta<sup>109</sup>.

---

<sup>108</sup>MUNEVAR M, F. Problemática de los suelos cultivados con palma de aceite en Colombia. Palmas (Colombia) v. 19 N° Especial, 1998. p. 218-228

<sup>109</sup>GRUPO BIOQUIMICO MEXICANO. Op., cit. P. 27-31.



El contenido de Magnesio, está por debajo de los niveles requeridos por el cultivo (Cuadro 3), afectando directamente la productividad, ya que este elemento cumple un rol de gran importancia al formar parte en la conformación del átomo de la clorofila y además cumple una función esencial en la síntesis protéica de la planta de palma aceitera<sup>110</sup>.

El valor del contenido de Boro (14.89 ppm) para la clase es superior al promedio general sin embargo, según los requerimientos del cultivo (Cuadro 4) se encuentra en un nivel bajo, lo cual puede incidir sobre el desarrollo de la palma de aceite, ya que las deficiencias de boro en la palma pueden conllevar a disminuir las inflorescencias, germinación del polen y fructificación o formación del racimo; por tanto es posible que las muestras que se ubican en esta categoría y sobre las partes altas y medias de la pendiente presenten desarrollo fisiológico lento y bajas producciones.

El contenido de hierro (FEF) en esta clase presentó un valor de 102.53 ppm siendo este valor inferior al promedio general (Anexo F); sin embargo, teniendo en cuenta los requerimientos del cultivo se encuentra en un nivel alto (Cuadro 4); esto posiblemente se debe a los altos contenidos de óxidos de hierro presentes en estos suelos que al ser aprovechados por la planta se ven reflejados en la cantidad absorbida a nivel foliar de las palmas; los contenidos encontrados de este nutriente a nivel foliar podrían de alguna forma afectar el desarrollo y producción de la palma.

Esta clase a diferencia de las dos anteriores presenta altos contenidos de calcio que pueden incidir en las deficiencias de magnesio encontradas.

#### **3.3.4 Clase cuatro**

Se encuentra conformada por tres lotes que representaron el 2.5% de la población (Figura 4) los cuales están ubicados en la zona baja de la pendiente; en esta clase las variables magnesio (MGS) con 1.97 meq/100g de suelo , Zinc (ZNS) 1.16 ppm, Cobre (CUS) 1.20 ppm y pH 4.82, presentan un valor superior al promedio general (Anexo F), no obstante se encuentran dentro de los niveles que el cultivo requiere (Cuadro 3), siendo de esta manera variables que no afectan en forma negativa el desarrollo y productividad del cultivo.

---

<sup>110</sup> GRUPO BIOQUIMICO MEXICANO. Ibid. P. 29.



Para esta clase es importante destacar que el pH alcanzado si bien está por debajo de cinco, es el más alto por tanto su influencia sobre la mayor disponibilidad de nutrientes como las bases y algunos micronutrientes es importante para mejorar la nutrición de la palma, situación que se puede estar presentando en la presente investigación. El pH en el suelo, tiene un efecto pronunciado sobre algunos de sus constituyentes, especialmente sobre los minerales, los microorganismos y las raíces de las plantas<sup>111</sup>. Concentraciones altas de hidrogeniones favorecen la meteorización de los minerales, resultando en la liberación de diversos iones como potasio, magnesio, calcio, manganeso, cobre y aluminio, de esta forma permiten que la planta tenga la posibilidad de mejorar la absorción de nutrientes presentes en el suelo.

El Aluminio (ALS) con 0.39 meq/100g presenta un valor inferior al promedio general, sin embargo, su contenido está dentro de los niveles normales requeridos por el cultivo (Cuadro 2) siendo así un elemento que no presenta limitaciones para desarrollo normal de la palma de aceite.

### **3.3.5 Clase cinco**

La clase cinco se encuentra conformada por 24 muestras que representan el 20% de la población (Figura 4). Donde el 75% de las muestras se encuentran ubicados en la parte alta y media de la pendiente. En esta clase las variables porcentaje de limos (LIM) con 61.5%, cobre (CUS) 0.66 ppm y densidad aparente (DA) 0.92 g/cm<sup>3</sup>; presentan un valor superior al promedio general (Anexo F), además, se encuentran dentro de los niveles que el cultivo requiere (Cuadro 3), de esta forma estas variables no pueden afectar de forma negativa el desarrollo del cultivo.

El potasio en esta clase (Anexo F), se encuentra en niveles deficientes para el desarrollo de la palma (cuadro 4), por tanto es posible que pueda incidir en que las plantas localizadas en esta área presenten deficiencias de potasio caracterizándose por exhibir clorosis foliar, baja emisión de inflorescencias, disminución de la producción de frutos y retardos en el crecimiento.

El potasio es el elemento que más absorbe la palma africana; este nutriente realiza un papel importante en el metabolismo de las plantas como la fotosíntesis, equilibrio de la respiración, síntesis de proteínas, metabolismo de Nitrógeno,

---

<sup>111</sup> MENGEL y KIRKBY, Op., cit. P. 246

traslocación de los hidratos de carbono y protección de la palma frente al ataque de enfermedades<sup>112</sup>.

De esta forma, la absorción de potasio por parte de la planta dependerá de la disponibilidad de potasio en el suelo. Cuando la disponibilidad es baja, la absorción de potasio por los cultivos del suelo es también baja, dando rendimientos bajos e insatisfactorios<sup>113</sup>. Situación que se puede estar presentando en la parte media de esta clase (Anexo H) dado que los bajos niveles de potasio encontrados a nivel foliar denotan que el suelo también puede estar presentando deficiencias, lo cual afecta la producción de fruto por hectárea.

Además, la respuesta a la absorción de potasio de los cultivos depende en gran parte del nivel de nutrición nitrogenada. En General, cuanto mejor sea el suministro de nitrógeno, mayor será el aumento de rendimiento debido a la acción del potasio<sup>114</sup>.

Para poder realizar un programa de fertilización adecuado y que de resultados positivos será necesario tener en cuenta entre otros el tiempo y cantidad que la palma necesita de un nutriente, para suministrarlo en forma oportuna, el estado de crecimiento de la palma, para aplicar el nutriente dependiendo del requerimiento del cultivo, por ejemplo en el caso del potasio, el requerimiento más alto se encuentra en la etapa vegetativa y en la formación de flores<sup>115</sup>.

Esta clase a diferencia de las anteriores presenta deficiencias de potasio a nivel foliar; condición que se observa en la mayoría de las palmas localizadas en la parte media de la pendiente (45.83% Anexo H).

### 3.3.6 Clase seis

La clase seis se encuentra conformada por 15 muestras que representaron el 12.5% de la población total (Figura 4); en esta clase las variables Manganeseo (MNF) con 466.02 ppm, Calcio (CAF) 0.8%, Zinc (ZNF) 24.63 ppm, Hierro (FEF) 155.99 ppm y Porcentaje de Limos (LIM) 64.62%; presentan un valor superior al promedio general de cada una de estas variables (Anexo F), además se encuentran dentro de los niveles requeridos por el cultivo (Cuadro 3 y 4), siendo de esta manera variables que no presentan incidencia negativa para el normal desarrollo y productividad del cultivo a excepción del manganeso que se

---

<sup>112</sup>OLLAGNIER, M. OCHS, R. y MARTIN, G., El abonamiento de la palma de aceite en el mundo. Fertilite, 1970, p. 61.

<sup>113</sup>MENGEL y KIRKBY. Op., cit. P. 245

<sup>114</sup>LORA, R. El proceso de análisis químico de suelos. In. Ciclo de cursos de actualización de conocimientos sobre suelos con aplicación el cultivo de la palma de aceite. Modulo dos. Principales características químicas del suelo. CENIPALMA, Santafe de Bogotá. 1998. pp. 215-226 (Memorias).

<sup>115</sup>FAIRHURST, T. Síntomas de Deficiencias de Nutrientes y Desordenes en Palma de Aceite. En: Guía de Bolsillo, Instituto de la Potasa y el Fósforo. Singapur, 1998. 23 p.

encuentra en niveles altos que podrían causar algún tipo de efecto negativo asociado a problemas de toxicidad para la palma de aceite.

Los síntomas de toxicidad se caracterizan generalmente por manchas pardas de  $MnO_2$  en las hojas maduras, rodeadas de zonas cloróticas. A veces el exceso de manganeso puede inducir la deficiencia de otros minerales como el hierro, magnesio y calcio<sup>116</sup>.

De acuerdo con el Anexo F la cantidad de Boro (BF) de 14.8 ppm; se encuentra con un valor superior al promedio general (12.85 ppm), sin embargo, de acuerdo a los requerimientos del cultivo (Cuadro 4), se encuentra por debajo del nivel mínimo; la deficiencia de este microelemento puede estar afectando en los procesos fisiológicos de gran importancia como floración, fructificación y germinación del polen, por lo tanto su deficiencia afecta directamente a la productividad del cultivo. La importancia del boro radica en que es un elemento directamente relacionado con la producción de polen, inflorescencias fértiles, frutos normales y producción de fruto<sup>117</sup>.

Así mismo, en esta clase se encontraron que el 46.67% de las muestras estaban localizadas en la parte baja de la pendiente (zona dos son los mas influenciados por estas variables Anexo H) y esta clase se diferencia de las anteriores por presentar altos niveles de manganeso que pueden en algún momento ocasionar toxicidad a la palma.

### **3.3.7 Clase siete**

Catorce lotes fueron agrupados en la clase siete (Figura 4) representando el 11.67% de las muestras del experimento; así mismo, se encontró que el 71.4% de estas muestras se localizan en las partes alta y media de la pendiente por lo tanto los resultados más relevantes se evidencian en estos sectores.

En esta clase las variables como Sodio (NAS) con 0.29 meq/100gm, Hierro (FES) 115 ppm, Porcentaje de Arenas (ARE) 52.50%, Manganeso del suelo (MNS) 6.88ppm, Capacidad de Intercambio catiónico (CIC) 17.17 meq/100g fósforo (PS) 108.38 ppm, Cobre (CUF) 10.04 ppm y Magnesio (MGF) 0.26%, registran valores superiores al promedio general del estudio (Anexo F). Los valores encontrados de las variables mencionadas se encuentran dentro de los rangos que el cultivo de palma requiere para su desarrollo y producción (Cuadro 3 y 4); de esta manera no presentaron incidencia negativa sobre la palma de aceite.

---

<sup>116</sup>BUSHLER et al (1958), Citado por KIRKBY y MENGEL. Principios de Nutrición Vegetal. 4ª edición. Instituto internacional de la Potasa. Switzerland. 2000. 604p.

<sup>117</sup>TANQUE, M. Studies of the Characteristics of Some Soils Under Oil Palm in Saban, Department of Agriculture. In: Technical Bulletin No. 5. (Sabah: Malaysia, 1982). P. 69.

Al igual que en la clase seis el Boro Foliar (BF), presenta un nivel bajo de 10.11ppm, respecto al requerimiento del cultivo (cuadro 4) y al promedio general de las siete clases (12,85 ppm, anexo F).

El boro en la palma tiene un papel muy importante ya que su accionar se encuentra en el metabolismo de los ácidos nucleicos, la biosíntesis de carbohidratos, la fotosíntesis, el metabolismo de las proteínas, lo cual se evidencia en el desarrollo de los tejidos meristemáticos, que incluyen los ápices de las raíces, puntas de las partes superiores de la planta o tejidos del cambium<sup>118</sup>.

La remoción de boro por la planta se incrementa cuando se presenta la polinización; siendo esencial en los procesos de formación de fruto y productividad; para evitar deficiencias de boro en la planta es necesario aprovisionar este elemento en el suelo o foliarmente<sup>119</sup>.

Los suelos de las muestras ubicadas en la parte alta y media de la pendiente (Anexo H) y que se clasificaron en la clase siete, es muy probable que presenten deficiencias de boro, caracterizándose por la presencia de flores improductivas, disminución de la floración, menor número de racimos por palma y frutos por racimo, deformidad de foliolos y por ende baja productividad de la palma.

En esta clase es destacable que los niveles de fósforo registran valores superiores a los que el cultivo requiere para su desarrollo.

Niveles extremadamente altos de fosfatos a nivel radical pueden deprimir el crecimiento. En experimentos con cultivos en solución se encontró que tasas muy altas de absorción de fosfatos se asociaban con tasas de crecimientos reducidas, tales efectos pueden bien ser debidos al efecto retardador del fosfato en la absorción y traslocación de algunos micronutrientes incluyendo zinc, hierro, cobre y boro<sup>120</sup>.

---

118MENGEL y KIRKBY, Op., cit. P. 252

119LORA, R. El proceso de análisis químico de suelos. In. Ciclo de cursos de actualización de conocimientos sobre suelos con aplicación el cultivo de la palma de aceite. Modulo dos. Principales características químicas del suelo. CENIPALMA, Santafe de Bogotá. 1998. pp. 215-226 (Memorias).

<sup>120</sup>GBM. Op., cit P. 29.

#### 4. CONCLUSIONES

1. El análisis multivariado de componentes principales (ACP) demostró que las variables materia orgánica (-0.71), capacidad de intercambio catiónico (-0.66), arenas (-0.62) y el contenido de aluminio (-0.54) en el suelo fueron los componentes que más variaron en todas las zonas muestreadas
2. Las variables materia orgánica y nitrógeno del suelo; aluminio del suelo, y pH; fueron las que en el análisis de correlación presentaron los valores más altos de 0.99 y -0.70 respectivamente; corroborando la relación directamente proporcional de estas variables.
3. Las clases se caracterizaron por presentar deficiencias en los contenidos de elementos nutricionales como el Potasio, Calcio, Magnesio, Boro, Zinc y Cobre; deficiencias que se presentaron en la parte alta, media y baja de la pendiente en todas las clases.
4. El estudio no permitió determinar diferencias claras de fertilidad de acuerdo a la pendiente.

## 6. RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio bromatológico para determinar el aporte de nutrientes que realiza la materia orgánica como: residuos de cosecha, aplicación de raquis; de igual forma la cantidad de nitrógeno que aporta el Kudzú en esta plantación; para determinar las cantidades faltantes de nutrientes y así obtener una respuesta positiva a la fertilización mejorando la relación costo beneficio.
2. Para futuros planes de fertilización de la empresa Palmas de Tumaco S.A. se recomienda tener en cuenta este estudio para determinar los niveles de fertilizantes requeridos en cada zona donde se describe el contenido de nutrientes en el suelo y realizar su respectiva calificación de acuerdo a los requerimientos del cultivo a nivel edáfico y su reflejo en la planta.
3. Realizar aplicaciones de fertilizantes de relación 13-5-30-3(Mg) mas elementos menores, aplicaciones que se deben hacer fraccionadas en diferentes épocas para determinar el efecto.

## BIBLIOGRAFIA

ACOSTA, A. Fase operativa de un programa de fertilización. In. Primer curso internacional de Palma de Aceite. CENIPALMA, Santafe de Bogota. PP. 179-200. (Memorias).

ANDERSON, D.L., BOWEN, J.E. Nutrición de la Caña de Azúcar, Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS), Quito, 1994. 40p.

BAVER, L. GARDNER, W. GARDNER, W. Física de Suelos. Trad. del inglés por Jorge Manuel Rodríguez y Rodríguez. México: U.T.E.H.A., 1973. pp.169.

BERNAL, N.F. El cultivo de la palma de aceite y su beneficio, Guia general para el nuevo palmicultor. FEDEPALMA, Santafé de Bogota, 2001. 186p

BROSCHAT, T.K. Principal Componet análisis in Horticulture research. Hort Science, Vol 14, April 1979. p. 4

BURBANO, H. VIVEROS, M.A. Diagnóstico, Fertilidad de Interpretación del Análisis de Suelos. Pasto: Colombia. Universidad de Nariño, 1988. p. 10.

CANCHANO, E. Uso y manejo de suelos. Universidad del Magdalena, Santa Marta, 1995. 395p.

CAYON, D.G. Ecofisiología de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq). In. Primer curso Internacional de Palma de aceite, CENIPALMA, Santafé de Bogotá, 1996. P 38-51 (memorias).

CASTILLO, R.A. Aspectos a tener en cuenta para el desarrollo de un cultivo de palma africana. In. Primer curso Internacional de Palma de aceite, CENIPALMA, Santafé de Bogotá, 1996. P 69-96 (memorias).

CRIVISQUI, E. Presentación del Análisis de Componentes Principales. In: Seminario de métodos estadísticos multivariados aplicados a la investigación. Universidad de Nariño y PRESTA, 1997. 57p.

CORTEZ, L.A., GUEVARA, J.P., CORTEZ, M.A. PALACIOS, S.M. Mapa de Suelos de Colombia, Escala 1:500.000. Subdirección Agrícola IGAC. Santa fe de Bogotá, 1982. p. 86. Citado por OWEN. Estado de las principales características físico - químicas de los suelos palmeros de la región de la Costa Pacifica, Vol. 16., No 3. 1995. pp. 31.

CORREDOR MEJIA, C. A. Importancia del gremio en la actividad palmicultora. In. Primer curso Internacional de Palma de aceite, CENIPALMA, Santa fe de Bogotá, 1996. P 421-425 (memorias).

CUELLAR, S., MUNEVAR, M.F. Control de calidad de los resultados analíticos en el Laboratorio de análisis foliares y de suelos de Cenipalma. Palmas (Colombia) Vol. 21 N° especial, tomo 1, 2000. pp. 92-98.

DISHINGTON, M.J., Et al. Visión y estrategias de la palmicultura colombiana: 2000 – 2020. Fedepalma. Bogotá, 2000. 290p

ESPINAL y MONTENEGRO (1963) citados por OWEN, B.E. Estado de las principales características físico-químicas de los suelos palmeros de la region de la costa pacífica. Palmas (Colombia) v 16 N°3, 1995. 35p.

ESPINAL, L.S., MONTENEGRO, M. Formación Vegetal de Colombia. Memorias Explicativas Sobre el Mapa Ecológico, Departamento Agrícola, IGAC. Santa fe de Bogotá, 1963. p. 20

FAIRHURST, T. Síntomas de Deficiencias de Nutrientes y Desordenes en Palma de Aceite. En: Guía de Bolsillo, Instituto de la Potasa y el Fósforo. Singapur, 1998. 23 p.

FASSBENDER, H y BORNEMISZA, E. Química de Suelos, con Énfasis en Suelos de América Latina. 2 ed. San José: Costa Rica, IICA, 1987. p. 69.

FEDEPALMA. Cultivo de Palma de Aceite y su beneficio. Santafé de Bogotá, 2001. 186p.

\_\_\_\_\_. Proyecciones y producciones 2010. Santafé de Bogotá, 2006. 136p.

GALIANO, F. Capacidad De intercambio catiónico y aniónico bases de cambio y saturaciones. In. Seminario taller Fundamentos para la interpretación de Análisis de suelos, plantas y Aguas para Riego. 3° ed. SCCS. Bogota, 2000. pp. 164-185 (memorias).

GUERRERO, R. La acidez del suelo, su naturaleza, sus implicaciones y su manejo. IN Seminario taller Fundamentos para la interpretación de Análisis de suelos, plantas y Aguas para Riego. 3° ed. SCCS. Bogota, 2000. pp. 141-163. (memorias).

GOMEZ CUERVO, P.L. El desarrollo tecnológico y la competitividad de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia. In. Primer curso Internacional de Palma de aceite, CENIPALMA, Santafé de Bogotá, 1996. P 426-432 (memorias).



GRUPO BIOQUIMICO MEXICANO. Manual de promoción y ventas. Principios de nutrición vegetal. Bogotá D.C. 2002. 32p.

HARTLEY, C.W.S. La Palma de Aceite. Trad. del inglés por Eduardo Maldonado. México: Continental, 1983. 652 p.

LEON, L.A. Los elementos mayores Nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo. IN Seminario taller Fundamentos para la interpretación de Análisis de suelos, plantas y Aguas para Riego. 3° ed. SCCS. Bogota, 2000. pp. 141-163. (memorias).

\_\_\_\_\_. Evaluación de la fertilidad del suelo. In. Fertilidad de suelos Diagnóstico y control. Nueva edición. SCCS. Santafé de Bogotá, 1998. pp. 155-186.

LORA, R. El proceso de análisis químico de suelos. In. Ciclo de cursos de actualización de conocimientos sobre suelos con aplicación el cultivo de la palma de aceite. Modulo dos. Principales características químicas del suelo. CENIPALMA, Santafe de Bogotá. 1998. pp. 215-226 (Memorias).

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, New York, 1986. 549 p.

MENGEL, K y KIRKBY, E.A. Principios de Nutrición vegetal. 4° edición. Internacional Potash Institute, Basel (Suiza), 2000. 603p.

MONOMEROS COLOMBO VENEZOLANOS S.A. (E.M.A.). Fertilización cultivos de clima cálido. 2 de la serie programada por MCV S.A., Edición N° 1, Bogotá, 1986. 159 p.

MONTENEGRO, H. Interpretación de las propiedades físicas del suelo (Textura, Estructura, Densidad, aireación, etc.). Seminario taller Fundamentos para la interpretación de Análisis de suelos, plantas y Aguas para Riego. 3° Ed. SCCS. Bogota, 2000. pp. 99-127 (memorias).

\_\_\_\_\_. Cultivos de clima cálido. Tercera Edición, 1993. 312 p.

MUNEVAR M, F. Problemática de los suelos cultivados con palma de aceite en Colombia. Palmas (Colombia) v. 19 N° Especial, 1998. p. 218-228

\_\_\_\_\_. Fertilización de la palma de aceite para obtener altos rendimientos. Palmas (Colombia) v. 22 N° 4, 2001. p. 9-17

MUNEVAR M, F y FRANCO, P.N. Guía general para el muestreo foliar y de suelos en cultivos de palma de aceite. Cenipalma, Santafé de Bogotá. (Boletín técnico N° 12) 1° ed. 1998.

\_\_\_\_\_. Guía general para el muestreo foliar y de suelos en cultivos de palma de aceite. Cenipalma, Santafé de Bogotá. (Boletín técnico N° 12) 2° ed. 2003. 24p.

\_\_\_\_\_. Conceptos sobre la materia orgánica y el nitrógeno del suelo relacionados con la interpretación de análisis químicos. In. Seminario –Taller fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo, Santafé de Bogotá, 2000. pp. 227-243 (memorias)

NG, S.K. The Oil Palm, its culture, Manuring and utilisation. International Potash Institute, Berne, 1972. 99 1-145.

OLLAGNIER, M. OCHS, R. y MARTIN, G., El abonamiento de la palma de aceite en el mundo. Fertilité, 1970, p. 61.

OLIVIN, J. Etude pour la localisation D´ bluc industriel de palmiers al´ Huile Oleagineux. Citado por OWEN. Fertilización de la palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq) Bogotá, 1995. p., 33.

OWEN, B.E. Estado de las principales características físico-químicas de los suelos palmeros de la region de la costa pacífica. Palmas (Colombia) v 16 N°3, 1995. p. 29-34

\_\_\_\_\_. Fertilización de la palma africana (*Elaeis guineensis* jacq.) en Colombia. Palmas (Colombia) v 13 N°2, 1992. p. 29-34

PALMAS DE TUMACO. Informes en general de la plantación y estación meteorológica (Varios informes). Tumaco, 2002.

PLA, L. E. Análisis multivariado: Método de componentes principales. OEA. Washintong, 1986.

ROJAS, A. Criterios en la interpretación del análisis mineralógico de arcillas. In. Seminario –Taller fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo, Santafé de Bogotá, 2000. pp. 47-95 (memorias)

SHARPLEY, J Y BOUL, L. Importancia de las arcillas en la nutrición del suelo. In. Seminario –Taller fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo, Santafé de Bogotá, 2000. pp. 23-35 (memorias)

TROUSE, A.C. Y HUMBERT, R.P. Some effects of soil compaction for crops. CIAT.SCCS. Bogotá, 1988. P. 106.

SALINAS, J.G. Adaptación de Plantas a Toxicidades de Al y Mn en suelos ácidos En: Fertilidad de suelos-diagnóstico y Control. SCCS, 3° edición, Bogotá, 1988. pp. 379-400.

SÁNCHEZ, P.A y SALINAS J.G. Suelos ácidos-Estrategias para su manejo con bajos insumos en América Tropical. Univ. Carolina Norte CIAT-SCCS. Bogotá, 1983. sp.

TANQUE, M. Studies of the Characteristics of Some Soils Under Oil Palm in Saban, Departament of Agriculture. In: Tenchnical Bulletin No. 5. (Sabah: Malaysia, 1982). P. 69.

UNIGARRO, A.E y CARREÑO, M. Métodos químicos para el Análisis de suelos. Editorial universitaria de la Universidad de Nariño, Pasto, 2005. 72p.





103m	I 7	18	17,92	0,8	11,1	4,40	40	50	10	0,44	2,670	155	0,153	1,12	1,100	0,7	0,850	0,7	0,200	20	0,08	0,92	350,6	0,14	21,19	2,3	0,4	7,86	23,4	102,6	1,92	17,63	
104m	I 4	18	17,32	0,8	8,8	4,30	40	50	10	0,37	2,230	239	0,131	1,06	1,170	3	0,720	0,3	0,220	16	0,07	1,48	249,9	0,24	18,24	1,4	0,6	7,7	46,8	102,8	0,34	13,99	
105m	I 3	18	18,19	0,8	10,2	3,90	40	50	10	0,41	2,230	4	0,131	0,14	1,170	0,6	0,630	0,2	0,220	20,4	0,08	0,7	249,9	0,22	18,24	2,5	0,6	7,7	41,6	102,8	0,38	13,99	
<b>Mue.</b>	<b>Lote</b>	<b>Ed</b>	<b>Pn</b>	<b>Da</b>	<b>Mo</b>	<b>Ph</b>	<b>Are</b>	<b>Lim</b>	<b>Arc</b>	<b>Ns</b>	<b>Nf</b>	<b>Ps</b>	<b>Pf</b>	<b>Ks</b>	<b>Kf</b>	<b>Cas</b>	<b>Caf</b>	<b>Mgs</b>	<b>Mgf</b>	<b>CIC</b>	<b>Nas</b>	<b>Mns</b>	<b>Mnf</b>	<b>Zns</b>	<b>Znf</b>	<b>Als</b>	<b>Cus</b>	<b>Cuf</b>	<b>Fes</b>	<b>Fef</b>	<b>Bs</b>	<b>Bf</b>	
<b>Unid.</b>	<b>Años</b>	<b>Ton/ha/año</b>	<b>Gr/cm3</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>ppm</b>	<b>%</b>	<b>meg/100g</b>	<b>%</b>	<b>meg/100g</b>	<b>%</b>	<b>meg/100g</b>	<b>%</b>	<b>meg/100g</b>	<b>%</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>
106m	H35, H 36	19	15,58	0,8	6,5	4,40	40	50	10	0,28	2,540	8	0,156	0,8	1,260	2	0,540	0,4	0,220	17,2	0,07	1,8	248	0,28	19,53	1,4	0,6	8,94	68	123,9	0,97	13,06	
107m	H 30, H 31	19	23,36	0,7	6,8	4,30	40	50	10	0,29	2,540	317	0,156	0,55	1,260	1,7	0,700	0,2	0,220	15,4	0,11	1,02	248,4	0,1	19,53	1,5	0,4	8,94	33,8	123,9	0,42	13,06	
108m	H 28	19	19,98	0,8	7	4,60	40	50	10	0,3	2,52	4	0,160	0,07	1,030	0,5	0,540	0,2	0,220	15,4	0,1	0,92	146,1	0,22	19,53	1,5	0,4	10,22	20,4	123,9	0,35	12,420	
109m	H 23	19	14,08	0,9	7,8	4,10	40	50	10	0,33	2,520	3	0,160	0,16	1,030	1,3	0,540	0,3	0,230	17,4	0,07	0,82	372,4	0,12	20,22	2,5	0,6	7,69	10,2	146,1	0,21	12,42	
110m	H 20, H 21	19	17,22	1,0	6,4	4,30	40	50	10	0,28	2,450	2	0,158	0,19	1,070	0,3	0,510	0,2	0,200	16,4	0,11	1,02	380,7	0,2	19,4	2	0,4	8,33	17	191,3	0,31	11,53	
111b	I 19	18	17,25	0,9	4,7	4,60	40	50	10	0,22	2,800	3	0,168	0,12	1,170	2,6	0,420	0,3	0,240	15,6	0,09	6,18	196,7	0,16	22,74	1,3	0,2	10,3	11,2	109,4	0,23	13,15	
112b	I 14	18	14,09	0,9	6,9	4,10	20	15	65	0,3	2,530	87	0,153	1,15	1,020	1	0,850	0,2	0,240	15,6	0,17	0,52	420,3	0,28	22,25	1,7	0,4	9,21	32	95,28	4,27	13,50	
113b	I 10	18	16,88	0,8	9,5	4,60	40	50	10	0,39	2,670	41	0,153	0,25	1,100	1,9	0,720	0,9	0,200	14,8	0,19	2,16	350,6	1,14	21,19	1,1	0,4	7,86	24	102,6	0,76	17,68	
114b	H 39	19	12,71	0,9	4,8	4,60	20	15	65	0,22	2,330	53	0,142	0,88	1,040	0,9	0,630	0,1	0,310	12	0,08	1,7	278,7	0,1	24,44	1	0,4	8,1	5,4	117,1	0,52	12,15	
115b	H 38	19	16,35	0,8	5	4,60	40	50	10	0,23	2,330	5	0,142	0,25	1,040	0,9	0,630	0,1	0,310	12,2	0,07	2,02	278,7	0,14	24,44	1,1	0,2	8,1	5,4	117,1	0,65	12,15	
116b	H 37	19	17,77	0,8	7,6	4,80	40	50	10	0,32	2,330	33	0,142	0,24	1,040	2,8	0,630	0,5	0,310	14,2	0,08	2,8	278,7	0,22	24,44	0,5	0,8	8,1	17	117,1	0,51	12,15	
117b	H 32, H 33	19	18,91	0,8	6,9	4,50	20	15	65	0,3	2,540	102	0,156	0,13	1,260	0,6	0,540	0,2	0,220	14	0,15	1,54	248,4	0,12	19,53	1	0,4	8,94	12,4	123,9	1,02	13,06	
118b	H 27	19	15,34	1	7	4,60	20	15	65	0,3	2,700	74	0,171	0,56	1,410	1,8	0,760	0,1	0,240	16,8	0,09	1,6	229,3	0,36	24,11	1,7	0,6	9,57	25,2	107,1	1,25	11,68	
119b	H 26	19	16,49	1	5	4,90	20	15	65	0,23	2,700	11	0,171	0,55	1,410	2,3	0,480	0,5	0,240	13,2	0,09	4,06	229,3	1,08	24,11	0,4	0,2	9,57	7,8	107,1	0,17	11,68	
120b	H 19	19	15,92	1	5,2	4,20	20	15	65	0,24	2,450	4	0,158	0,9	1,070	2,4	0,510	0,9	0,200	14,6	0,12	4,74	380,7	0,16	19,4	0,7	0,6	8,33	9,4	191,3	1,15	11,53	

**Anexo B. Histograma de los valores propios correspondientes a la variabilidad aplicada para cada uno de los factores formados.**

Nº	VOLOR PROPIO	PORCENTAJE DE INERCIA	PORCENTAJE ACUMULADO	HISTOGRAMA
1	3.9137	13.69	13.69	*****
2	3.2507	11.57	25.26	*****
3	3.0674	10.97	36.23	*****
4	2.3261	8.58	44.81	*****
5	1.7534	6.74	51.55	*****
6	1.6677	4.8	56.34	*****
7	1.4866	4.32	60.66	*****
8	1.3402	3.64	64.3	*****
9	1.1282	6.52	67.83	*****
10	1.0919	3.36	71.19	*****
11	1.0424	3.13	74.31	*****
12	0.9692	3.00	77.31	*****
13	0.929	2.59	79.9	*****
14	0.8014	2.46	82.36	*****
15	0.7631	2.31	84.67	*****
16	0.7161	2.02	86.68	*****
17	0.6252	1.88	88.57	*****
18	0.5842	1.71	90.28	*****
19	0.5311	1.5	91.78	*****
20	0.4639	1.41	93.19	*****
21	0.4362	1.3	94.49	*****
22	0.4043	1.18	95.67	*****
23	0.3655	1.04	96.71	*****
24	0.3228	0.83	97.54	*****
25	0.2582	0.77	98.32	*****
26	0.24	0.66	98.97	*****
27	0.2033	0.55	99.53	*****
28	0.1717	0.4	99.93	****
29	0.1399	0.05	99.98	***
30	0.0066	0.02	100.00	*
31	0.0000	0.00	100.00	*

### Anexo C. Coordenadas de las variables sobre los ejes 1 á 5 variables activas

VARIABLES		COORDENADAS				
IDENTIF	NOMBRE	1	2	3	4	5
ED	Edad	-0,34	-0,69	-0,19	-0,02	0,11
PN	Producción	-0,22	-0,28	-0,22	0,17	0,10
DA	Densidad Aparente	0,63	0,01	-0,07	0,20	-0,01
MO	Materia orgánica	-0,70	0,30	0,18	-0,41	-0,15
PH	ph	0,34	-0,21	0,38	-0,21	-0,43
ARE	Arenas	-0,62	-0,08	0,01	-0,14	-0,33
LIM	Limos	0,23	-0,06	0,35	0,55	-0,01
ARC	Arcillas	0,27	0,13	-0,37	-0,45	0,28
NS	Nitrógeno del Suelo	-0,71	0,29	0,17	-0,41	-0,17
NF	Nitrogeno Foliar	0,32	0,34	-0,08	-0,34	-0,14
PS	Fósforo del Suelo	-0,20	-0,26	0,36	-0,22	0,44
PF	Fósforo Foliar	0,19	0,08	-0,16	-0,35	-0,08
KS	Potasio del Suelo	0,10	0,00	0,25	-0,20	0,52
KF	Potasio Foliar	0,15	-0,18	-0,33	-0,47	0,01
CAS	Calcio del Suelo	0,02	-0,07	0,26	-0,26	-0,34
CAF	Calcio Foiar	-0,15	0,15	0,63	0,10	0,26
MGS	Magnesio del Suelo	0,20	-0,14	0,45	-0,27	-0,04
MGF	Magnesio Foliar	0,35	-0,46	-0,11	-0,32	0,17
CIC	Capacidad de Intercambio Cationico	-0,66	0,02	0,07	-0,16	-0,10
NAS	Sodio del Suelo	-0,25	-0,59	0,20	-0,02	0,17
MNS	Manganeso del Suelo	0,22	-0,44	0,28	0,09	-0,23
MNF	Manganeso Foliar	-0,23	-0,12	0,46	0,17	0,18
ZNS	Cinc del Suelo	0,18	-0,01	0,55	-0,12	-0,25
ZNF	Cinc Foliar	0,09	-0,41	0,04	-0,80	0,06
ALS	Aluminio del Suelo	-0,54	0,20	-0,41	0,23	0,19
CUS	Cobre del Suelo	0,39	0,21	0,61	-0,05	-0,05
CUF	Cobre Foliar	0,22	-0,49	-0,18	-0,42	0,02
FES	Hierro del Suelo	-0,32	-0,31	0,40	0,04	0,11
FEF	Hierro Foliar	-0,30	-0,69	-0,01	0,20	-0,11
BS	Boro del Suelo	0,08	0,21	0,24	-0,21	0,57
BF	Boro Foliar	-0,06	0,55	0,23	-0,10	0,18



**Anexo D. Descripción de las 31 variables con sus valores Máximos, Mininos y promedio General.**

30	BS	Boro del Suelo	0,77	0,62	0,15	4,27
31	BF	Boro Foliar	12,85	2,53	1,46	17,85
NUMERO.	IDENTIFICACION	CARACTERISTICA	PROMEDIO	DESVIACION TIPICA	VALOR MÍNIMO REGISTRADO	VALOR MÁXIMO REGISTRADO
1	ED	Edad	17,83	6,72	3,00	24,00
2	PN	Producción	16,21	5,43	3,20	41,91
3	DA	Densidad Aparente	0,87	0,09	0,70	1,10
4	MO	Materia orgánica	6,32	1,70	2,90	12,00
5	PH	ph	4,47	0,25	3,80	5,20
6	ARE	Arenas	34,92	16,07	15,00	85,00
7	LIM	Limos	47,88	20,38	10,00	80,00
8	ARC	Arcillas	17,21	19,61	5,00	65,00
9	NS	Nitrógeno del Suelo	0,28	0,06	0,14	0,47
10	NF	Nitrógeno Foliar	2,54	0,15	2,18	2,95
11	PS	Fósforo del Suelo	63,05	77,70	1,00	363,00
12	PF	Fósforo Foliar	0,15	0,01	0,13	0,17
13	KS	Potasio del Suelo	0,58	0,48	0,07	2,90
14	KF	Potasio Foliar	1,11	0,14	0,75	1,47
15	CAS	Calcio del Suelo	1,38	1,82	0,05	13,20
16	CAF	Calcio Foliar	0,66	0,12	0,42	0,92
17	MGS	Magnesio del Suelo	0,47	0,50	0,01	4,00
18	MGF	Magnesio Foliar	0,24	0,03	0,18	0,31
19	CIC	Capacidad de Intercambio Catiónico	15,22	2,61	7,00	21,80
20	NAS	Sodio del Suelo	0,15	0,10	0,04	0,42
21	MNS	Manganeso del Suelo	2,64	5,20	0,02	45,00
22	MNF	Manganeso Foliar	332,97	96,41	146,10	649,00
23	ZNS	Cinc del Suelo	0,34	0,33	0,02	1,82
24	ZNF	Cinc Foliar	21,65	2,74	16,35	27,94
25	ALS	Aluminio del Suelo	1,35	0,56	0,10	3,00
26	CUS	Cobre del Suelo	0,48	0,29	0,10	1,60
27	CUF	Cobre Foliar	8,74	1,30	7,30	13,44
28	FES	Hierro del Suelo	58,62	44,19	4,20	210,00
29	FEF	Hierro Foliar	125,92	31,56	76,42	194,70

**Anexo E. correlaciones ente las variables analizadas para 120 muestras de suelo, foliar, edad y producción.**

NONBRE	ED	PN	DA	MO	PH	ARE	LIM	ARC	NS	NF	PS	PF	KS	KF	CAS	CAF	MGS	MGF	CIC	NAS	MNS	MNF	ZNS	ZNF	ALS	CUS	CUF	FES	FEF	BS	BF								
Edad	1,00																																						
Producción	0,47	1,00																																					
Densidad Aparente	-0,17	-0,11	1,00																																				
Materia orgánica	0,00	0,01	-0,47	1,00																																			
ph	0,01	0,01	0,10	-0,09	1,00																																		
Arenas	0,10	0,02	-0,37	0,37	-0,06	1,00																																	
Limos	-0,05	0,03	0,09	-0,18	0,07	-0,44	1,00																																
Arcillas	-0,03	-0,05	0,22	-0,11	-0,02	-0,36	-0,68	1,00																															
Nitrógeno del Suelo	0,01	0,01	-0,46	0,99	-0,09	0,41	-0,22	-0,11	1,00																														
Nitrogeno Foliar	-0,34	-0,22	0,15	-0,01	-0,01	-0,11	-0,02	0,11	-0,02	1,00																													
Fósforo del Suelo	0,23	0,13	-0,20	0,15	-0,03	0,02	0,02	-0,04	0,14	-0,19	1,00																												
Fósforo Foliar	-0,06	-0,07	0,04	0,00	0,06	-0,02	-0,11	0,13	-0,01	0,34	-0,10	1,00																											
Potasio del Suelo	-0,07	-0,08	-0,03	-0,01	-0,03	-0,09	0,04	0,03	-0,01	-0,06	0,25	0,05	1,00																										
Potasio Foliar	0,24	0,00	0,00	-0,01	0,07	-0,13	-0,11	0,23	0,00	0,11	0,01	0,20	0,06	1,00																									
Calcio del Suelo	0,07	-0,10	0,01	0,08	0,26	0,07	-0,03	-0,23	0,11	0,00	0,14	-0,06	-0,01	0,09	1,00																								
Calcio Foliar	-0,18	-0,09	-0,12	0,15	0,09	0,00	0,14	-0,14	0,14	-0,08	0,25	-0,11	0,02	-0,31	-0,08	1,00																							
Magnesio del Suelo	-0,07	0,06	-0,01	0,00	0,28	-0,01	0,00	0,01	-0,01	0,03	0,16	0,02	0,18	0,00	0,07	0,07	1,00																						
Magnesio Foliar	0,09	-0,13	0,09	-0,21	0,03	-0,12	0,02	0,08	-0,21	0,05	0,08	0,00	0,14	0,25	-0,06	-0,16	0,15	1,00																					
Capacidad de Intercambio Cationico	0,19	0,01	-0,37	0,51	-0,12	0,27	-0,15	-0,07	0,51	-0,06	0,11	-0,15	-0,05	-0,06	0,10	0,07	-0,12	-0,23	1,00																				
Sodio del Suelo	0,38	0,00	-0,20	-0,08	0,01	0,22	-0,05	-0,13	-0,09	-0,18	0,24	-0,10	0,09	-0,07	0,03	0,07	0,16	0,17	0,16	1,00																			
Manganeso del Suelo	0,07	-0,04	0,12	-0,18	0,25	-0,11	0,18	-0,10	-0,19	-0,04	0,10	-0,04	-0,02	-0,07	0,17	0,04	0,14	0,17	-0,03	0,20	1,00																		
Manganeso Foliar	0,11	-0,08	-0,04	0,10	0,02	0,05	0,50	-0,09	0,11	-0,19	0,11	-0,07	0,06	-0,23	0,02	0,46	0,12	-0,10	0,10	0,21	0,13	1,00																	
Cinc del Suelo	-0,12	-0,23	0,09	-0,03	0,27	0,02	0,06	-0,08	-0,03	0,13	0,10	-0,04	0,03	-0,12	0,23	0,17	0,42	-0,01	-0,03	0,13	0,13	0,11	1,00																
Cinc Foliar	0,24	0,01	0,02	-0,03	0,15	0,00	-0,13	0,14	-0,04	0,08	0,10	0,06	0,00	0,23	0,02	0,13	0,05	0,35	-0,04	0,06	0,05	0,13	0,03	1,00															
Aluminio del Suelo	0,11	0,09	-0,20	0,23	-0,70	0,24	-0,14	-0,05	0,22	-0,05	-0,07	-0,06	-0,12	-0,07	-0,14	-0,12	-0,31	-0,17	0,30	0,00	-0,26	0,03	-0,2	-0,2	1,00														
Cobre del Suelo	-0,34	-0,27	0,25	-0,01	0,22	-0,26	0,30	-0,10	-0,02	0,09	0,09	0,05	0,18	0,07	0,10	0,23	0,31	0,02	-0,15	-0,23	0,15	0,06	0,42	0,01	-0,4	1,00													
Cobre Foliar	0,23	0,01	0,01	-0,12	0,11	-0,07	-0,03	0,10	-0,13	0,16	0,12	0,23	0,00	0,23	0,03	-0,17	0,06	0,58	-0,08	0,27	0,19	-0,24	-0,1	0,28	-0,2	-0,1	1,00												
Hierro del Suelo	0,21	-0,07	-0,11	0,16	-0,08	0,21	0,12	-0,30	0,16	-0,08	0,20	-0,06	0,11	-0,15	-0,02	0,29	0,02	0,02	0,22	0,46	0,11	0,22	0,12	0,09	0,04	0,12	0,13	1,00											
Hierro Foliar	0,61	0,25	-0,09	-0,05	0,07	0,20	0,04	-0,21	-0,03	-0,40	0,09	-0,06	-0,10	0,07	0,00	-0,08	-0,02	-0,03	0,14	0,32	0,22	0,26	-0,1	0,31	0,03	-0,2	0,02	0,21	1,00										
Boro del Suelo	-0,09	-0,03	0,02	0,04	-0,02	-0,14	-0,03	0,15	0,03	0,12	0,26	0,02	0,32	-0,04	0,04	0,20	0,10	0,02	-0,01	0,01	-0,11	0,07	0,02	-0,04	-0,07	0,17	-0,10	-0,05	-0,17	1,00									
Boro Foliar	-0,20	-0,09	-0,2	0,20	0,03	-0,10	0,06	0,02	0,15	0,12	0,00	-0,01	0,06	0,03	0,09	0,32	-0,02	-0,38	-0,02	-0,16	-0,33	0,06	0,00	-0,05	-0,04	0,15	-0,22	-0,05	-0,41	0,18	1,00								
	ED	PN	DA	MO	PH	ARE	LIM	ARC	NS	NF	PS	PF	KS	KF	CAS	CAF	MGS	MGF	CIC	NAS	MNS	MNF	ZNS	ZNF	ALS	CUS	CUF	FES	FEF	BS	BF								

**Anexo F. Descripción y comparación de las siete clases conformadas en el dendograma**

CLASE 1 / 7							
V.TEST	PROBA	MEDIA		DESVIACIÓN TÍPICA		VARIABLES CARACTERÍSTICAS	
		CLASE GENERAL		CLASE GENERAL		NUM: TEXTO	IDEN
		CLASE 1 / 7		LIMITE = 35.00		EFFECTIF = 35	
							aa1a
4,18	0,000	19,33	16,21	5,89	5,43	2.pn	PN
3,35	0,000	20,92	17,83	1,82	6,72	1.ed	ED
2,4	0,008	54,59	47,88	7,57	20,38	7.lim	LIM
-2,46	0,007	0,76	1,38	0,7	1,82	15.cas	CAS
-2,58	0,005	0,55	0,77	0,34	0,62	30.bs	BS
-2,7	0,004	0,37	0,48	0,18	0,29	26.cus	CUS
-2,75	0,003	33,7	63,05	59,94	77,7	11.ps	PS
-2,78	0,003	9,73	17,21	1,13	19,61	8.arc	ARC
-3,25	0,001	0,19	0,34	0,15	0,33	23.zns	ZNS
-3,62	0,000	285,02	332,97	80,49	96,41	22.mnf	MNF
-4,38	0,000	0,58	0,66	0,07	0,12	16.caf	CAF
CLASE 2 / 7							
V.TEST	PROBA	MEDIA		DESVIACIÓN TÍPICA		VARIABLES CARACTERÍSTICAS	
		CLASE GENERAL		CLASE GENERAL		NUM: TEXTO	IDEN
		CLASSE 2 / 7		(POIDS = 13.00		EFFECTIF = 13)	
							aa2a
9,66	0,000	65,00	17,21	0,00	19,61	8.arc	ARC
3,16	0,001	1,23	1,11	0,14	0,14	14.kf	KF
-2,61	0,005	0,58	0,66	0,12	0,12	16.caf	CAF
-3,27	0,001	22,19	58,62	27,82	44,19	28.fes	FES
-3,68	0,000	20,00	34,92	0,00	16,07	6.are	ARE
-6,4	0,000	15,00	47,88	0,00	20,38	7.lim	LIM
CLASE 3 / 7							
V.TEST	PROBA	MEDIA		DESVIACIÓN TÍPICA		VARIABLES CARACTERÍSTICAS	
		CLASE GENERAL		CLASE GENERAL		NUM: TEXTO	IDEN
		CLASSE 3 / 7		(POIDS = 16.00		EFFECTIF = 16	
							aa3a
6,04	0,000	0,36	0,28	0,06	0,06	9.ns	NS
5,99	0,000	8,69	6,32	1,91	1,70	4.mo	MO
4,83	0,000	3,43	1,38	3,6	1,82	15.cas	CAS
3,47	0,000	14,89	12,85	1,88	2,53	31.bf	BF
3,23	0,001	17,19	15,22	2,3	2,61	19.cic	CIC
2,52	0,006	44,37	34,92	16,09	16,07	6.are	ARE
-2,82	0,002	0,81	0,87	0,06	0,09	3.da	DA
-2,83	0,002	0,22	0,24	0,02	0,03	18.mgf	MGF
-3,17	0,001	102,53	125,92	11,80	31,56	29.fef	FEF
CLASE 4 / 7							
V.TEST	PROBA	MEDIA		DESVIACIÓN TÍPICA		VARIABLES CARACTERÍSTICAS	
		CLASE GENERAL		CLASE GENERAL		NUM: TEXTO	IDEN
		CLASSE 4 / 7		(POIDS = 3.00		EFFECTIF = 3)	
							aa4a
6,02	0,000	1,97	0,47	1,18	0,50	17.mgs	MGS
5,11	0,000	1,16	0,34	0,39	0,33	23.zns	ZNS
4,98	0,000	1,20	0,48	0,24	0,29	26.cus	CUS
2,81	0,002	4,82	4,47	0,33	0,25	5.ph	PH
-3,53	0,000	0,39	1,35	0,15	0,56	25.als	ALS
-4,02	0,000	4,50	17,83	1,50	6,72	1.ed	ED
CLASE 5 / 7							

V.TEST	PROBA	MEDIA		DESVIACIÓN TÍPICA		VARIABLES CARACTERÍSTICAS			IDEN
		CLASE GENERAL		CLASE GENERAL		NUM: TEXTO			
		CLASSE 5 / 7		(POIDS = 24.00		EFFECTIF = 24 )			aa5a
3,26	0,001	61,5	47,88	10,14	20,38	7.lim			LIM
2,95	0,002	0,66	0,48	0,34	0,29	26.cus			CUS
2,39	0,008	0,92	0,87	0,1	0,09	3.da			DA
-2,71	0,003	5,38	6,32	1,09	1,70	4.mo			MO
-2,89	0,002	1,03	1,11	0,12	0,14	14.kf			KF
-3,03	0,001	0,24	0,28	0,04	0,06	9.ns			NS
-3,61	0,000	12,18	16,21	6,5	5,43	2.pn			PN
-3,77	0,000	19,53	21,65	2,36	2,74	24.znf			ZNF
-4,22	0,000	98,63	125,92	12,37	31,56	29.fef			FEF
-6,78	0,000	8,50	17,83	6,99	6,72	1.ed			ED
<b>CLASE 6 / 7</b>									
V.TEST	PROBA	MEDIA		DESVIACIÓN TÍPICA		VARIABLES CARACTERÍSTICAS			IDEN
		CLASE GENERAL		CLASE GENERAL		NUM: TEXTO			
		CLASSE 6 / 7		(POIDS = 15.00		EFFECTIF = 15)			aa6a
5,25	0,000	466,02	332,97	34,38	96,41	22.mnf			MNF
4,49	0,000	0,8	0,66	0,09	0,12	16.caf			CAF
4,13	0,000	24,63	21,65	2,34	2,74	24.znf			ZNF
3,62	0,000	155,99	125,92	28,24	31,56	29.fef			FEF
3,12	0,001	64,62	47,88	12,78	20,38	7.lim			LIM
2,93	0,002	14,80	12,85	1,61	2,53	31.bf			BF
2,40	0,008	22,08	17,83	0,62	6,72	1.ed			ED
<b>CLASE 7 / 7</b>									
V.TEST	PROBA	MEDIA		DESVIACIÓN TÍPICA		VARIABLES CARACTERÍSTICAS			IDEN
		CLASE GENERAL		CLASE GENERAL		NUM: TEXTO			
		CLASSE 7 / 7		(POIDS = 14.00		EFFECTIF = 14)			aa7a
6,35	0,000	0,29	0,15	0,07	0,10	20.nas			NAS
5,46	0,000	115,00	58,62	41,60	44,19	28.fes			FES
4,68	0,000	52,50	34,92	25,80	16,07	6.are			ARE
4,62	0,000	160,03	125,92	26,20	31,56	29.fef			FEF
4,31	0,000	10,04	8,74	2,14	1,30	27.cuf			CUF
3,69	0,000	23,62	17,83	0,70	6,72	1.ed			ED
3,48	0,000	6,88	2,64	11,95	5,20	21.mns			MNS
3,21	0,001	17,17	15,22	2,24	2,61	19.cic			CIC
2,86	0,002	0,26	0,24	0,03	0,03	18.mgf			MGF
2,50	0,006	108,38	63,05	75,63	77,70	11.ps			PS
-4,63	0,000	10,11	12,85	4,24	2,53	31.bf			BF

**Anexo G. Productividad anual media de racimos frescos en Colombia  
según el nivel de tecnología aplicado al cultivo de palma africana**

<b>PRODUCTIVIDAD ANUAL MEDIA DE RACIMOS EN COLOMBIA SEGÚN EL NIVEL DE TECNOLOGÍA APLICADO</b>			
<b>EDAD</b>	<b>PRODUCCIÓN MÍNIMA</b>	<b>PRODUCCIÓN MEDIA</b>	<b>PRODUCCIÓN ALTA</b>
	<b>(Nivel bajo de Tecnología)</b>	<b>(Nivel medio de Tecnología)</b>	<b>(Nivel alto de Tecnología y condiciones óptimas para el desarrollo del cultivo)</b>
18 a 24 meses			2 a 4 t/ha
2 a 3 años		2 a 4 t/ha	8 a 12 t/ha
3 a 4 años	2 a 4 t/ha	8 a 12 t/ha	14 a 18 t/ha
4 a 5 años	8 a 12 t/ha	14 a 18 t/ha	22 a 26 t/ha
5 a 6 años	12 a 18 t/ha	18 a 22 t/ha	28 a 32 t/ha
6 a 10 años	18 a 26 t/ha	22 a 30 t/ha	32 a 36 t/ha
10 a 14 años	26 a 30 t/ha	30 a 34 t/ha	36 a 40 t/ha
14 a 16 años	28 a 30 t/ha	30 a 34 t/ha	36 a 40 t/ha
16 a 18 años	22 a 28 t/ha	26 a 30 t/ha	30 a 36 t/ha
18 a 20 años	16 a 22 t/ha	20 a 26 t/ha	26 a 30 t/ha
20 a 35 años	12 a 16 t/ha	16 a 20 t/ha	22 a 26 t/ha

**Anexo H. Participación por zona y por altura del área de estudio**

CLASE	% DE PARTICIPACIÓN POR ZONA				% DE PARTICIPACIÓN POR ALTURA		
	Z1	Z2	Z3	Z4	61 - 75 MSNM	46 - 60 MSNM	30 - 45 MSNM
1	14,28	22,85	28,57	34,30	34,28	34,28	31,44
2	-	-	30,77	69,23	38,46	15,38	46,16
3	6,25	12,5	12,5	68,75	43,75	43,75	12,5
4	-	-	100	-	-	-	100
5	8,34	45,83	45,83	-	29,16	45,83	25,01
6	20	80	-	-	33,33	20	46,67
7	92,85	7,15	-	-	35,71	35,71	28,58

### Anexo I. Deficiencias y antagonismos

FACTORES QUE PUEDEN CONTRIBUIR A LA DEFICIENCIA	DEFICIENCIAS					
	Mn	Fe	B	Cu	Zn	Mo
Alto N		X			X	
Alto P		X		X	X	
Bajo K		X				
Al/Ca y/o (sobre encalamiento)		X	X	X		
Alto Mg					X	
Alto Mn		X		X		X
Alto Fe	X			X		
Alto Cu	X	X				X
Bajo Zn				X		
Alto Zn	X	X		X		
Bajo Ph	X					X
Alto pH	X	X	X	X	X	
Alto s						X
Alto Na	X					
CaCo3 libre		X				
Baja Materia Orgánica		X	X	X		
Alta Materia Orgánica				X	X	
Drenaje natural malo	X					
Condiciones de sequía	X		X			
Baja temperatura, suelo húmedo	X	X				
Suelos con mala aireación		X				
Suelos livianos color claro	X		X	X	X	
Suelos alcalinos	X		X		X	
Alta intensidad lumínica			X			
Baja intensidad lumínica	X					
Condiciones extremas de humedad		X				

**Anexo J. Niveles más altos de Materia orgánica y nitrógeno del suelo registrado en el área de estudio y discriminado por la ubicación en la pendiente de las muestras de suelo. Palmas de Tumaco**

ubicación	lote	edad	Producción ton/ha	Mo	Ns
alta	H 34	19	12,95	12	0,47
alta	I 16, I 17	18	16,5	11,2	0,44
alta	D 16	22	13,87	10,8	0,43
alta	B2	24	18,1	9,1	0,38
alta	M 4	6	8,94	9,1	0,37
alta	H 22	19	17,13	8,1	0,34
media	I 7	18	17,92	11,1	0,44
media	I 3	18	18,19	10,2	0,41
media	I 15, I 18	18	18,87	9,7	0,39
media	I 4	18	17,32	8,8	0,37
media	N 20	3	8,68	8,5	0,36
media	9, I 11, I 13	18	8,59	8,3	0,35
baja	I 10	18	16,88	9,5	0,39
<b>Promedio general</b>			<b>14,92</b>	<b>9,72</b>	<b>0,37</b>



**Anexo K. Niveles medios de Materia orgánica y nitrógeno del suelo registrado en el área de estudio y discriminado por la ubicación en la pendiente de las muestras de suelo. Palmas de Tumaco**

ubicación	lote	edad	Producción ton/ha	Mo	Ns
alta	H 25	19	17,78	7,8	0,33
alta	I 21	18	11,99	7,8	0,33
alta	D 27	22	13,78	7,8	0,33
alta	B11	24	17,86	7,7	0,33
alta	B3	24	16,45	7,6	0,32
alta	H 29	19	16,73	7,4	0,32
alta	I 5	18	16,55	7,4	0,32
alta	D 19	22	18,07	7,4	0,32
alta	I 12	18	15,07	7,3	0,31
alta	D 28	22	17,65	7,3	0,31
alta	D 1	22	18,11	7,2	0,31
alta	M 1	6	8,28	7	0,3
alta	B18	24	16,44	6,9	0,3
alta	I 6, I 8	18	16,55	6,5	0,29
alta	D 3	22	13,08	6,5	0,29
alta	H 24	19	19,86	6,4	0,28
alta	B1	24	16,45	6,2	0,27
alta	H 11	19	41,91	5,9	0,26
alta	L 1	6	24,12	5,7	0,25
alta	B12	24	17,53	5,7	0,25
alta	D 10	22	18,97	5,7	0,25
alta	D 13	22	34,73	5,6	0,25
alta	I 2	18	16,7	5,5	0,25
alta	L 5	6	20,18	5,5	0,25
alta	E 21	21	18,08	5,4	0,24
alta	N 16	3	4,77	5,4	0,24
alta	N 23	3	5,02	5,3	0,24
alta	D 21	22	16,81	5,3	0,24
alta	D 8	22	16,98	5,1	0,23
media	L 6	6	18,16	7,8	0,33
media	D 7	22	16,52	7,8	0,33
media	M 3	6	10,33	7,8	0,33
media	H 23	19	14,08	7,8	0,33
media	N 17	3	4,24	7,6	0,32
media	E 26, E 27	21	24,96	7,5	0,32
media	B9	24	14,58	7,3	0,31
media	E 30	21	19,4	7,2	0,31
media	D 4	22	16,82	7	0,3

media	H 28	19	19,98	7	0,3
media	H 30, H 31	19	23,36	6,8	0,29
media	I 20	18	16,81	6,8	0,3
media	N 22	3	5,9	6,5	0,28
media	H35, H 36	19	15,58	6,5	0,28
media	L 4	6	21,51	6,4	0,28
media	H 20, H 21	19	17,22	6,4	0,28
media	D 15	22	12,5	6,3	0,28
media	C3, C4	23	16,76	6,2	0,27
media	B4, B5	24	16,92	6,2	0,25
media	H 12	19	17,48	6	0,27
media	D 5	22	15,03	5,9	0,26
media	M 6	6	8,59	5,9	0,26
media	M 2	6	7,02	5,9	0,26
media	D 12	22	15,49	5,7	0,25
media	B8	24	15,61	5,7	0,31
media	C5	23	11,54	5,5	0,2
media	D 9	22	15,5	5,2	0,23
media	B 15	24	15,62	5,2	0,22
media	L 2	6	15,54	5,1	0,23
baja	H 37	19	17,77	7,6	0,32
baja	E 22	21	19,69	7,5	0,32
baja	L 3	6	19,81	7,3	0,31
baja	D 13	22	34,73	7,1	0,31
baja	H 27	19	15,34	7	0,3
baja	D 14	22	17,21	6,9	0,3
baja	H 32, H 33	19	18,91	6,9	0,3
baja	I 14	18	14,09	6,9	0,3
baja	B 19	24	21,29	6,7	0,29
baja	B 17, C 7	24	14,44	6,7	0,29
baja	D 20	22	20,01	6,6	0,29
baja	H 13	19	14,41	6,4	0,28
baja	C2	23	15,57	6,1	0,27
baja	E 29	21	19,25	5,6	0,25
baja	D 22	22	18,64	5,6	0,25
baja	B 10	24	15,66	5,4	0,24
baja	E 19	21	16,84	5,3	0,24
baja	N 21	3	6,99	5,3	0,24
baja	D 18	22	14,17	5,2	0,24
baja	H 19	19	15,92	5,2	0,24
<b>Promedio general</b>			<b>16,67</b>	<b>6,47</b>	<b>0,28</b>

**Anexo L. Niveles bajos de Materia orgánica y nitrógeno del suelo registrado en el área de estudio y discriminado por la ubicación en la pendiente de las muestras de suelo. Palmas de Tumaco**

ubicación	lote	edad	Producción ton/ha	Mo	Ns
alta	C9-C10	23	17,36	5	0,23
alta	L 7	6	16,27	5	0,23
alta	N 19	3	4,02	4,9	0,22
alta	E 23	21	15,33	4,5	0,21
alta	E 28	21	22	4,3	0,2
alta	C8	23	17,61	3,7	0,18
media	D 28	22	17,65	5	0,23
media	E 20	21	16,65	4,8	0,22
media	B6	24	17,3	4,8	0,25
media	M 5	6	10,77	4,6	0,21
media	C6	23	15,5	4,2	0,24
media	H 14	19	17,67	4,1	0,19
baja	H 26	19	16,49	5	0,23
baja	H 38	19	16,35	5	0,23
baja	E 24, E 25	21	24,76	4,9	0,22
baja	H 39	19	12,71	4,8	0,22
baja	D 17	22	15,07	4,7	0,21
baja	I 19	18	17,25	4,7	0,22
baja	M 8	6	3,2	4,5	0,21
baja	D 2	22	17,08	4,4	0,2
baja	N 18	3	5,66	4,3	0,2
baja	D 11	22	15,9	4,3	0,2
baja	M 7	6	9,29	4,3	0,2
baja	B7	24	16,29	4,1	0,19
baja	D 6	22	16,12	3,9	0,18
baja	B 13, B 14	24	16,44	3,7	0,18
baja	C1	23	18,02	3,6	0,17
baja	L 8	6	15,86	3,4	0,16
baja	B 16	24	19,55	2,9	0,14
<b>Promedio general</b>			<b>15,32</b>	<b>4,39</b>	

