

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMIA



“Caracterización de suelos, y estado nutricional de plantaciones de palma aceitera (*Elaeis guineensis*), en los Distritos de Campo Verde, Irazola y Curimaná, Provincias de Coronel Portillo y Padre Abad, región Ucayali - 2012”

TESIS

**PARA OPTAR EL TITULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

Bach. Roosevelt Javier Sandy Da Cruz

PUCALLPA-PERU

2015

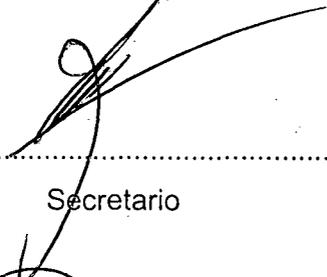
ACTA DE APROBACIÓN

Esta tesis fue sometida a consideración para su aprobación ante el Jurado de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Ucayali, integrado por los siguientes docentes:

Ing. Fernando Pérez Leal, M.Sc.


.....
Presidente

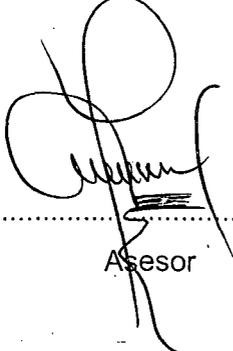
Ing. Antonio López Ucariegue, M.Sc.


.....
Secretario

Ing. Roger Vásquez Gómez.


.....
Miembro

Dr. Grober Panduro Pisco


.....
Asesor

Bach. Roosevelt Javier Sandy Da Cruz


.....
Tesisista

DEDICATORIA

Al ser supremo que es Dios, por su bondad de brindarme mucha salud en todo momento y por darme la confianza de hacer realidad este sueño. Con amor a mi madre Doris Da Cruz Noriega, que ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles; A mi padre Javier Sandy Cisneros quien con sus consejos ha sabido guiarme para culminar mi carrera profesional.

A mi hermana Carolina Sandy por ser el ejemplo de una hermana mayor y de la cual aprendí aciertos y de momentos difíciles; a mis hermanos, Javier Sandy y Grace Sandy, por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho.

A mis abuelos Sobeida Cisneros y Octavio Sandy, por quererme y apoyarme siempre, esto también se lo debo a ustedes.

A mis tíos y primos; quisiera nombrarlos a cada uno de ustedes pero son muchos, pero eso no quiere decir que no me acuerde de cada uno, a todos los quiero mucho. Gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi sincero agradecimiento a las siguientes instituciones y personas que han contribuido en la realización de la presente tesis:

- *A la Universidad Nacional de Ucayali, por darme la oportunidad de realizar mi aspiración de ser profesional.*
- *A los docentes de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UNU, por impartirme los conocimientos para mi formación profesional.*
- *De una manera muy especial a mi Asesor al Dr. Grober Panduro Pisco por el apoyo decidido, la confianza, por sus consejos y aportes en el desarrollo y redacción de la tesis desde el inicio hasta el final.*
- *Al Técnico de Laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Ucayali, señor Juan Huaycama Manihuari, por su constante apoyo en la ejecución del presente trabajo de investigación.*
- *A los señores agricultores de las plantaciones estudiadas, por su gran apoyo, hospitalidad y buena disposición. Sr. Carlos Díaz Ingunza, Sr. Prospero Villar Chávez, Sr. Aron Molina Guerra, Sra. Maria Retis, Sr. Aurelio Nuñez y Sr Gerardo Gastelu.*
- *A mis amigos Carlos A. Ramírez Vela, Moisés Silva Valdiviezo, Elias Cano Vargas, José H. Shimamoto Armas, Jack B. Ochoa Torres, Marco A. Marín Ruiz, Jackelyn Soria Torres, Priscilla Saavedra Albarracín, Paola Ruiz Odicio, André Kañari, Erick Lloid por sus incondicional apoyo.*
- *Y a todos aquellos que escapa mi memoria y que contribuyeron desinteresadamente para que este estudio finalizara con éxito.*

ÍNDICE

	<i>Página.</i>
ACTA DE APROBACION	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMEINTO	iv
INDICE GENERAL	v
INDICE DE CUADROS	ix
INDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
I. INTRODUCCION	1
II. MARCO TEORICO	3
2.1. Suelo: concepto, contenido y relación con otras ciencias	3
2.2. El perfil y los horizontes del suelo	7
2.3. Propiedades físicas del suelo	8
2.3.1. El color del suelo.	8
2.3.1.1. Relación entre el color y otras propiedades del suelo	9
2.3.1.2. Determinación del color del suelo	10
2.3.2. Textura	10
2.3.2.1. Origen de la textura del suelo	12
2.3.2.2. Diagrama textural	12
2.3.3. Estructura	15
2.3.3.1. Génesis de la estructura	16
2.3.3.2. Estabilidad de la estructura	18
2.3.3.3. La estructura y su relación con la aplicación de fertilizantes y el crecimiento de las plantas	19
2.3.4. Densidad aparente del suelo	20
2.3.5. Temperatura del suelo y edafoclima	21
2.3.5.1. Factores de calentamiento superficial del suelo: Suelos cálidos y suelos fríos	22
2.3.5.2. La difusión calorífica en profundidad	22
2.3.5.3. Acción de la temperatura del suelo y de sus variaciones	23
2.3.5.4. Noción de edafoclima	23
2.3.6. Profundidad efectiva	24
2.3.7. Permeabilidad del suelo.	25
2.3.7.1. La permeabilidad del suelo se relaciona con su textura y estructura	26
2.3.7.2. Variación de la permeabilidad según la textura del suelo.	26
2.3.7.3. Variación de la permeabilidad según la estructura del suelo.	27
2.3.7.4. Clases de permeabilidad del suelo	27

2.3.8. Humedad del suelo	28
2.3.9. Contenido de materia orgánica del suelo	28
2.3.9.1. La materia orgánica en los suelos cultivados	30
2.4. Propiedades químicas de los suelos	31
2.4.1 pH del suelo	31
2.4.1.1. Definición.	31
2.4.1.2. Importancia del pH del suelo	31
2.4.2. Cambio iónico del suelo.	33
2.4.2.1. Intercambio iónico	35
2.4.3 Cambio catiónico.	36
2.4.3.1. Capacidad de Intercambio catiónico	36
2.4.3.2. Saturación en bases del complejo de cambio	37
2.4.3.3. Significado agronómico de la CIC	38
2.4.3 Cambio catiónico	41
2.5. Cultivo de palma aceitera	41
2.5.1. Requisitos climáticos del cultivo.	41
2.5.1.1. Temperatura	41
2.5.1.2. Precipitación	42
2.5.1.3. Brillo Solar	42
2.5.2. Suelos y sistema radical.	42
2.5.3. Nutrición	44
2.5.3.1. Requisitos nutricionales	44
2.5.3.2. Contenido de nutrientes en el suelo y en la palma aceitera	45
2.5.3.3. Balance Nutricional, para la sostenibilidad de la palma aceitera.	46
2.5.3.3.1. Balance del nitrógeno	48
2.5.3.3.1. Balance de potasio	48
2.5.3.3.1. Balance de fosforo y magnesio	50
2.5.4. Utilización de los resultados de los análisis de suelo y tejido	50
III. METODOLOGÍA	52
3.1. Ubicación y duración del experimento	52
3.2. Condiciones climáticas en la fase del estudio	55
3.3. Componentes en Estudio.	56
3.4. Metodología	56
3.4.1 Método de investigación	56
3.4.2 Población y muestra	56
3.5. Instrumentos de recolección de datos.	57
3.6. Procedimiento para recopilación de la información	58
3.6.1 Ubicación de las Parcelas de investigación y distribución de las Unidades de sub muestreo.	58
3.6.2. Análisis colorimétrico y textural del suelo en campo.	59
3.6.3. Ejecución y Descripción de las Calicatas	61
3.6.4 Evaluación de las características físicas de los suelos de	61

cada calicata.	
3.6.4.1. Textura del Suelo	61
3.6.4.2. Estructura del suelo	62
3.6.4.3. Densidad Aparente	62
3.6.4.4. Humedad gravimétrica del suelo	63
3.6.4.5. Temperatura del suelo	63
3.6.4.6. Infiltración y permeabilidad del suelo	64
3.6.4.7. Profundidad efectiva	64
3.6.5 Evaluación de las características químicas de los suelos.	65
3.6.5.1. Determinación del pH.	65
3.6.5.2. Determinación de las Bases de cambio Ca, Mg, K (cmol(+)/Kg- 1).	65
3.6.5.3. Determinación de la Acidez intercambiable (H +Al) y aluminio intercambiable.	65
3.6.5.4. Determinación de Fósforo (ppm).	65
3.6.5.5. Determinación de la Materia Orgánica	65
3.6.7. Evaluación del estado nutricional de la planta de palma aceitera.	66
3.7. Tratamiento estadístico de los datos de análisis	67
3.7.1. Análisis de conglomerados	67
3.7.2. Análisis de regresión	67
IV RESULTADOS Y DISCUSIONES	68
4.1 Calidad de Sitio	68
4.1.1 Determinación de las UMAs y conglomerado de pertenencia.	68
4.1.2 Descripción de las características de cada grupo de suelo	70
4.1.2.1 Grupo Mayor de suelo N° 01	70
4.1.2.2 Grupo Mayor de suelo N° 01	71
4.1.2.3 Grupo Mayor de suelo N° 01	72
4.1.3 Análisis Estadístico	74
4.1.3.1 Análisis de las variables de la zona de estudio N° 01	74
a) Relación del cambio de profundidad del suelo con otras variables.	74
b) Relación del pH con otras variables del suelo	75
c) Materia Orgánica	76
d) Relaciones catiónicas	77
4.1.3.2 Análisis de las variables de la zona de estudio N° 02	78
a) Relación del cambio de profundidad del suelo con otras variables.	78
b) Relación del pH con otras variables del suelo	79
c) Materia Orgánica	81
d) Relaciones catiónicas	82
4.1.3.3 Análisis de las variables de la zona de estudio N° 03	83
e) Relación del cambio de profundidad del suelo con otras variables.	83

f) Relación del pH con otras variables del suelo	84
g) Materia Orgánica	85
h) Relaciones catiónicas	86
4.2 Estado nutricional de la palma aceitera.	87
V CONCLUSIONES	88
VI RECOMENDACIONES	90
VII BIBLIOGRAFIA	91
VIII ANEXOS	95
8.1 Parcela de investigación N° 01: Monte de los olivos	95
8.2 Parcela de investigación N° 02: Villa Mercedes	96
8.3 Parcela de investigación N° 03: El Maronal	97
8.4 Parcela de investigación N° 04: San Pedro	98
8.5 Parcela de investigación N° 05: Las Palmeras de Ucayali	99
8.6 Parcela de investigación N° 06: La Merced de Neshuya	100
8.7 Análisis de regresión y correlación de la profundidad (ANOVA) de la unidad de manejo agronómico N° 01.	101
8.8 Análisis de regresión y correlación del pH (ANOVA) de la unidad de manejo agronómico N° 01.	101
8.9 Análisis de regresión y correlación de la materia orgánica (ANOVA) de la unidad de manejo agronómico N° 01.	102
8.10 Análisis de regresión y correlación de la profundidad (ANOVA) de la unidad de manejo agronómico N° 02.	103
8.11 Análisis de regresión y correlación del pH (ANOVA) de la unidad de manejo agronómico N° 02.	103
8.12 Análisis de regresión y correlación de la materia orgánica (ANOVA) de la unidad de manejo agronómico N° 02.	104
8.13 Análisis de regresión y correlación de la profundidad (ANOVA) de la unidad de manejo agronómico N° 01.	105
8.14 Análisis de regresión y correlación del pH (ANOVA) de la unidad de manejo agronómico N° 01.	105
8.15 Análisis de regresión y correlación de la materia orgánica (ANOVA) de la unidad de manejo agronómico N° 01.	106
IX ICONOGRAFIA	107

INDICE DE CUADROS

	<i>Página</i>
Cuadro N° 01 Propiedades de los Suelos que Cambian con el Tiempo	7
Cuadro N° 02 Color del Suelo y su relación con otras propiedades	9
Cuadro N° 03 Clases texturales existentes	13
Cuadro N° 04 Influencia de la profundidad del suelo en la productividad relativa	24
Cuadro N° 05 Variación de la permeabilidad según la textura	26
Cuadro N° 06 Permeabilidad media para diferentes texturas de suelo	26
Cuadro N° 07 Variación de la permeabilidad según la estructura del suelo	27
Cuadro N° 08 Clases de permeabilidad de los suelos para la agricultura	27
Cuadro N° 09 Factor de conversión de la materia orgánica	29
Cuadro N°10 Clasificación del suelo según la saturación del complejo de cambio	40
Cuadro N°11 Rangos críticos de concentración de nutrimentos para palma de aceite.	45
Cuadro N°12 Clasificación de niveles críticos en el suelo, aplicable al cultivo de Palma aceitera.	46
Cuadro N° 13 Sitio de Evaluación N° 1-Sector Monte de los Olivos	52
Cuadro N° 14 Sitio de Evaluación N° 2-Sector Villa Mercedes	53
Cuadro N° 15 Sitio de Evaluación N° 3-Sector Maronal	53
Cuadro N° 16 Sitio de Evaluación N° 4-Sector San Pedro	53
Cuadro N° 17 Sitio de Evaluación N° 5-Sector Palmeras del Ucayali	53
Cuadro N° 18 Sitio de Evaluación N° 6-Sector La Merced de Neshuya	54
Cuadro N° 19 Determinación de las UMAs y conglomerados de pertenencia	68
Cuadro N° 20 Nutrientes de la palma en tejido foliar (hoja 17)	87

INDICE DE FIGURAS

Página

Figura N°01 Sección transversal de la Tierra a través de un continente	3
Figura N°02 Color del Suelo y su relación con otras propiedades	4
Figura N°03 Diagrama textural de la USDA	13
Figura N°04 Génesis de la estructura	17
Figura N°05 Fuerzas de cohesión entre partículas de arena	17
Figura N°06 Relación del pH del suelo con la asimilabilidad de los elementos	33
Figura N°07 Valor de CIC y saturación de tres suelos en función de la acidez y la textura.	39
Figura N°08 Relación entre la composición catiónica del complejo de cambio y la acidez del suelo.	40
Figura N°09 Diagrama de un balance de nutrientes en palmas en producción	48
Figura N°10 Mapa de Ubicación y Localización de las Parcelas en Evaluación de la primera zona en estudio carretera Neshuya-Cuirmana.	54
Figura N°11 Mapa de Ubicación y Localización de las Parcelas en Evaluación de la segunda zona en estudio Campo Verde.	55
Figura N°12 Esquema de distribución de sub muestras dentro de la Unidad de Muestreo.	58
Figura N°13 Hoja de colores 10YR de la Tabla de Colores Munsell	59
Figura N°14 Foto mostrando cómo elaborar las plastas de suelo	60
Figura N°15 Dendograma de distribución de las parcelas	69
Figura N°16 Calicata representativa del suelo del grupo uno	70
Figura N°17 Calicata representativa del suelo del grupo dos	71
Figura N°18 Calicata representativa del suelo del grupo tres	72
Figura N°19 - 22. Relaciones de la profundidad con otros factores del suelo del grupo N° 01.	74
Figura N°23-26. Relaciones del pH con otros factores del suelo del grupo N° 01	75
Figura N°27-29. Relaciones de la Materia Orgánica con otros factores del suelo del grupo N° 01	76
Figura N°30-32 Relaciones Catiónicas del grupo N° 01	77

Figura N°33-36 Relaciones de la profundidad con otros factores del suelo del grupo N° 02.	78-79
Figura N°37-40 Relaciones del pH con otros factores del suelo del grupo N° 02.	79-80
Figura N°41-43 Relaciones de la Materia Orgánica con otros factores del suelo del grupo N° 02.	81
Figura N°44-46 Relaciones Catiónicas del grupo N° 02	82
Figura N°47-50 Relaciones de la profundidad con otros factores del suelo del grupo N° 03.	83
Figura N°51-54 Relaciones del pH con otros factores del suelo del grupo N° 03.	84
Figura N°55-57 Relaciones de la Materia Orgánica con otros factores del suelo del grupo N° 03.	85
Figura N°58-60 Relaciones Catiónicas del grupo N° 03.	86

RESUMEN

Es indudable la relación entre factores ambientales y el desarrollo de las plantaciones de palma aceitera. A nivel local el suelo destaca como factor determinante. El presente trabajo tiene como objetivo determinar la variabilidad de las características físicas y químicas de los suelos y el estado nutricional del cultivo de palma aceitera en la Zona Palmera de Campo Verde, Neshuya-Curimana; sus factores limitantes y su fertilidad, así como también determinar las relaciones entre las características físico-químicas de los suelos del área de influencia del estudio. Se puede indicar que los suelos descritos en la zona productora de palma aceitera de los distritos de Campo Verde, Neshuya – Curimana, presentan pendientes desde planas a ligeramente inclinadas (0 – 3%). Los suelos muestran colores marrones, amarillentos y rojizos; lo que indican un mediano a alto grado de evolución; sin embargo, el horizonte A, de espesor variable (5 a 30 cm), presenta colores oscuros, con evidencia de bajos a buenos contenidos de materia orgánica. La presencia del horizonte argílico es indicativo que ha ocurrido lavado de las bases (Ca, Mg y K) en el suelo, por lo cual se puede inferir que los suelos tienen reacción ácida y una media a baja fertilidad. La retención de humedad es de media a alta, el drenaje externo es rápido a moderado y el interno moderado a lento. También existe un 35% de productividad relativa de las raíces; esto puede deberse a muchos factores como por ejemplo a la compactación del suelo, con una alta capa freática.

El cultivo de palma aceitera en las zonas de estudio presenta una amplia variación en cuanto al contenido de nutrientes de la hoja 17, se encontró que la mayor parte de la variación en los niveles óptimos de concentraciones foliares se ve reflejado por factores ambientales y propiedades del suelo, dentro de estos el de mayor importancia es la disponibilidad de humedad.

Palabras claves: Caracterización, Estado Nutricional

Summary

There is no doubt about the relationship between environmental factors and the development of oil palm plantations. At the local level the ground stands out as the determining factor. The objective of this work is to determine the variability of the physical and chemical characteristics of the soil and the nutritional status of the cultivation of oil palms in the Palm area of Green Field, Neshuya-Curimana ; their limiting factors and their fertility, as well as determining the relationships between the physical and chemical characteristics of the soils of the area of influence of the study. It is possible to indicate that the soils described in the producing area of oil palm of the districts of Green Field, Neshuya – Curimana, present slopes from pages to lightly inclined (0 – 3 %). The soils show brown, yellowish and reddish colors; what they indicate a medium-sized one to evolution high degree; nevertheless, the horizon A, of variable thickness(density) (5 to 30 cm), presents dark colors, with shallows evidence to good organic matter contents. The presence of the horizon argillico is indicative that has happened wash of the bases (Ca, Mg and K) in the soil, for which it is possible to infer that the soils have acid reaction and an average to low fertility. Moisture retention is medium to high, external drainage is fast to moderate and moderate to slow internal. There is also a 35% relative productivity of the roots, which may be due to many factors such as the compaction of the soil, with a high water table.

The oil palm cultivation in the study area presents a wide variation in the nutrient content of leaf 17, it was found that most of the variation in the optimal levels of foliar concentrations is reflected by environmental factors and properties ground, within these the most important is the availability of moisture.

Key words: characterization, nutritional status

I. INTRODUCCIÓN

La Región Ucayali tiene una extensión superficial de más 10'241,055 has con una población estimada de 468,922 habitantes y que de ello; (según INRENA 2001); 1'927,425.00 ha son aptas para el cultivo de la palma aceitera; Asimismo, actualmente existe una superficie cultivada de 13,958 has; (Plan estratégico Regional de Desarrollo Agrario, 2009); lo que genera una gran actividad agroindustrial basada en este cultivo.

Pero teniendo en cuenta que el suelo es una variable de gran importancia en el manejo de la nutrición de cultivos, se hace necesario conocer los diferentes tipos de suelos en los cuales se establece la palma de aceite ya que el estado nutricional de las plantas en general varía de acuerdo a las propiedades físicas y químicas del sustrato donde se encuentran establecidas.

Entonces la no consecución de rendimientos óptimos de los cultivos en su mayoría pueden deberse al manejo generalizado que se le da al recurso suelo, el cual juega un papel determinante en el establecimiento, desarrollo y producción de la palma de aceite.

Por lo tanto, el establecimiento del cultivo es una etapa fundamental para mejorar esas condiciones adversas del sistema productivo; esto sumado al acompañamiento técnico cercano a los nuevos productores mediante la implementación de la tecnología disponible, disminuye la incertidumbre sobre los futuros resultados.

El objetivo de esta investigación de caracterización de suelos es establecer las variaciones físicas y químicas que registran los suelos y de acuerdo a ello definir las unidades de manejo agronómico con sus correspondientes criterios de manejo de la nutrición y la sanidad vegetal.

Se busca entonces identificar grandes grupos de suelo, con características bastante disímiles y una vez identificados éstos grupos, definir las correspondientes unidades de manejo agronómico y los respectivos programas de

manejo de la nutrición acorde a éstos grupos de suelo, todo ello en un claro acercamiento a la denominada "agricultura de manejo por sitio específico" conducente al desarrollo de agricultura económicamente viable, ambientalmente sostenible y socialmente aceptable.

Considerando esta realidad y con la finalidad de contribuir a generar conocimientos en el ámbito de la caracterización del suelo y el estado nutricional en el cultivo de palma aceitera se desarrolló el presente estudio, que tiene como:

Objetivo General

Caracterizar física y químicamente los suelos y evaluar el estado nutricional de plantaciones de palma aceitera del Sector Campo Verde, Neshuya-Curimaná.

Objetivos específicos:

- a) Determinar las características físicas y químicas de los suelos, actualmente con palma aceitera y las unidades de manejo agronómico(UMAs)
- b) Determinar el contenido nutricional en las hojas del cultivo de palma aceitera.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

2.1. Suelo: concepto, contenido y relación con otras ciencias

El suelo es la fina capa de material fértil que recubre la superficie de la Tierra.

El suelo es una capa delgada situada en el límite entre la atmósfera y la zona continental de la corteza terrestre (Figura 1).

Atmósfera, corteza y suelo interactúan para proporcionar a los seres vivos los recursos que necesitan. El suelo, por tanto, constituye el soporte de la vida sobre los continentes.

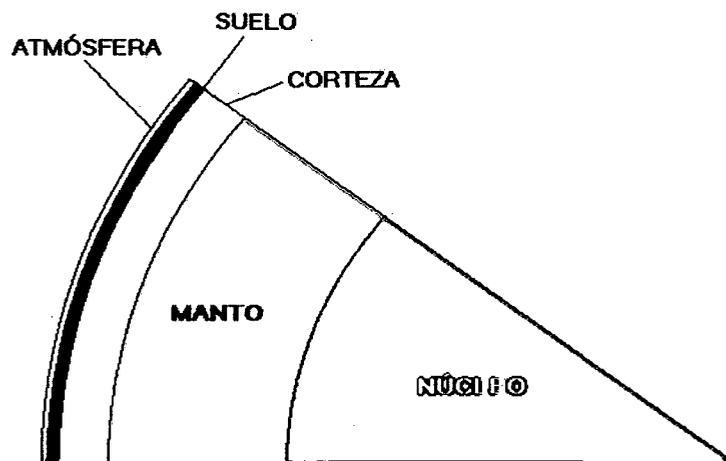
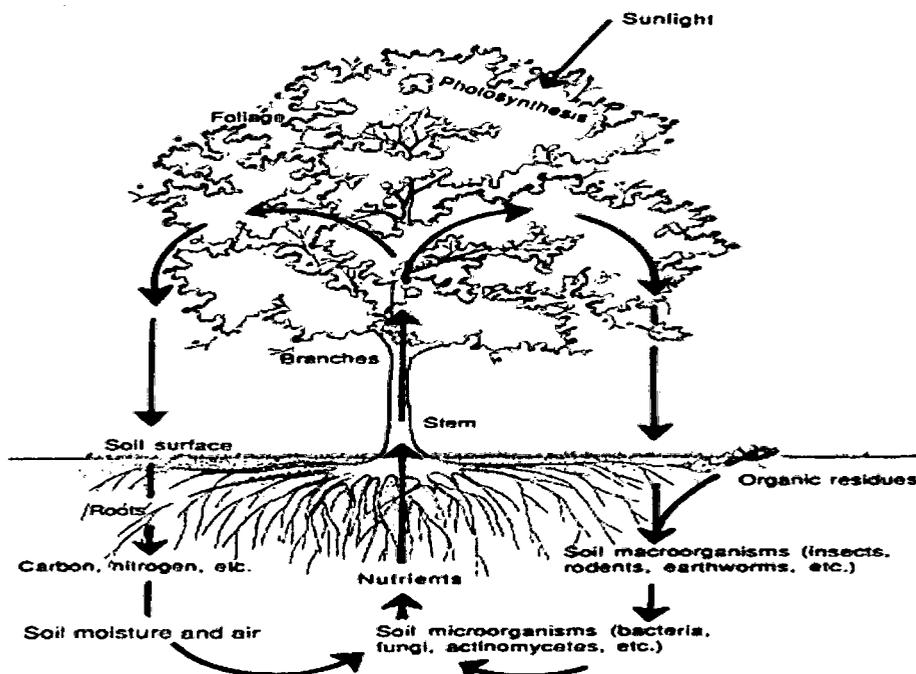


Figura 1. Sección transversal de la Tierra a través de un continente.

Desde el punto de vista científico el suelo constituye el objeto de estudio de la Edafología, la cual lo define como "ente natural organizado e independiente, con unos constituyentes, propiedades y génesis que son el resultado de la actuación de una serie de factores activos (clima, organismos, relieve y tiempo) sobre un material pasivo (la roca madre o material parental)". El suelo forma un sistema abierto a la atmósfera y la corteza que almacena de forma temporal los recursos necesarios para los seres vivos (Figura 2). La disponibilidad de estos recursos (agua, energía, nutrientes minerales, etc.) depende de la intensidad y velocidad de los procesos de intercambio entre el suelo y el resto de compartimentos de los sistemas ecológicos.



Hillel, D. Soil in the Environment. Academic Press

Figura 2. Ciclos e intercambios de materia y energía entre la atmósfera, el suelo, la corteza y los seres vivos.

El concepto de suelo ha ido modificándose conforme ha ido avanzando el conocimiento de sus componentes y la relación entre ellos. Así, para el alemán Frank Albert Fallou (1862), el suelo puede considerarse como “el producto de la alteración, que, como dientes, va royendo la superficie de la tierra”. En este mismo sentido, para el también alemán Emil Ramann (1928), el suelo es “la capa superior de alteración de la corteza”. Lavy, pensaba que el suelo no era más que una clase de roca. Se trata de conceptos meramente geológicos.

Para el norteamericano Eugene Woldemar Hilgard (1906), con una formación más amplia como geólogo, edafólogo y agrónomo, el suelo era “el material más o menos suelto en el que las plantas encuentran soporte y nutrición”.

Robinson (1930) afirmaba que el suelo es la alteración físico-química de la roca, los residuos orgánicos y los excrementos.

Según Walter L. Kubiena, investigador afincado en España, “el suelo es la capa viviente de transformación de la corteza sólida terrestre surgida bajo el influjo de la vida y de las especiales condiciones del hábitat biológico, sometida a un constante cambio estacional y desarrollo peculiar”.

José María Albareda definió en 1940 el suelo como “una formación limítrofe, zona en que se compenentran la parte sólida, líquida y gaseosa de la tierra, lo mineral inorgánico, seres vivos y restos de la vida, crecimientos y destrucciones, lavados y evaporaciones, una complejidad natural sometida a una complejidad dinámica”.

Desde el punto de vista científico más actualizado, la Edafología define el suelo como “un ente natural organizado e independiente, con unos constituyentes, propiedades y génesis que son el resultado de la actuación de una serie de factores activos (clima, organismos, relieve y tiempo) sobre un material pasivo (la roca madre o material parental)”. El edafólogo francés Philippe Duchaufour definió en 1956 el suelo como una “colección de cuerpos naturales de la superficie terrestre que soporta plantas, que llega desde los materiales no consolidados e inorgánicos que yacen en la zona de las raíces de plantas nativas perennes a donde se han desarrollado horizontes impermeables a las raíces o los dos metros más superficiales de propiedades distintas al material rocoso subyacente, como resultado de la acción de organismos vivos, clima, roca madre y relieve”.

En la definición de suelo que ofrece el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 1998), el suelo es un cuerpo natural formado por una fase sólida (minerales y materia orgánica), una fase líquida y una fase gaseosa que ocupa la superficie de la tierra, organizada en horizontes o capas de materiales distintos a la roca madre, como resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de materia y energía, que tiene capacidad para servir de soporte a las plantas con raíces en un medio natural. Los límites superiores del suelo son la atmósfera, las aguas superficiales poco profundas (es decir, que pueden soportar el crecimiento de raíces), las plantas vivas o el material orgánico que no ha comenzado a descomponerse. Los límites horizontales los constituyen áreas donde el suelo es invadido por aguas profundas (más de 2.5 m), materiales estériles, rocas o hielo. El límite inferior está constituido por la roca dura y continua. De manera arbitraria, la profundidad máxima del suelo se establece en 2 m.

De este modo, la visión del suelo como una intersección de atmósfera, litosfera, hidrosfera y biosfera ha dejado paso a un concepto de suelo como un subsistema de los ecosistemas terrestres.

Este concepto sistémico del suelo implica tres características fundamentales:

- ☞ **Complejidad:** El suelo está caracterizado por una atmósfera interna, una economía particular del agua, una flora y fauna determinada, unas partículas minerales y unas partículas orgánicas, estando todos estos componentes fuertemente relacionados.
- ☞ **Dinamismo:** El suelo adquiere progresivamente sus propiedades por la acción combinada del medio. La roca madre se altera por influencia del clima y la vegetación; los residuos vegetales y animales son atacados por los microorganismos del suelo, forman complejos orgánicos coloidales que se denominan humus y que después se mineralizan progresivamente; se establecen uniones más o menos íntimas entre los minerales procedentes de la alteración de la roca y el humus; las sustancias solubilizadas y las partículas coloidales sufren migraciones. Así, al fin de su proceso evolutivo, el suelo da lugar a un medio estable y equilibrado con el clima, la vegetación y la roca madre. Sin embargo, este equilibrio puede romperse mediante una modificación apreciable del clima o la vegetación, comenzando un nuevo proceso de evolución.
- ☞ **Permeabilidad:** El suelo es un sistema abierto. Esta permeabilidad repercute en la mayor o menor facilidad de degradación.

En el siguiente cuadro N° 1 se menciona algunas propiedades de los suelos que varían según el tiempo

Propiedades de los Suelos que Cambian con el Transcurso del Tiempo		
Propiedades que cambian en minutos, horas o días	Propiedades que cambian en meses o años	Propiedades que cambian en cientos y miles de años
Temperatura Contenido de humedad Composición del aire en poros de suelo	pH Color Estructura Contenido de materia orgánica Fertilidad Microorganismos Densidad	Tipos de minerales Distribución de tamaño de partículas Formación de horizontes

Fuente: USDA, 1998

2.2. El perfil y los horizontes del suelo

Como la edafización actúa desde la superficie y va perdiendo su intensidad conforme profundizamos en el perfil del suelo, el material se altera de un modo diferencial y como resultado de la actuación de estos procesos de meteorización y translocación se pasa de un material homogéneo o uniforme, como es la roca, a un material heterogéneo, estratificado en capas con diferentes propiedades como es el suelo; es decir, se produce la horizonación del material. Y es precisamente esta característica, representada por la variación regular de las propiedades y constituyentes del suelo en función de la profundidad, la característica más representativa de los suelos, rasgo que los diferencia claramente de las rocas.

A cada capa en que se organiza el material del suelo se le denomina horizonte, y su superposición constituye el perfil del suelo.

Los horizontes constituyen las unidades para el estudio y para la clasificación de los suelos.

Los horizontes edáficos son capas aproximadamente paralelas a la superficie del terreno y se establecen en función de cambios de las propiedades y constituyentes (que son el resultado de la actuación de los procesos de formación del suelo) con respecto a las capas inmediatas. Los horizontes se ponen, normalmente, de manifiesto en el campo, en el perfil del suelo, pero los datos de laboratorio sirven para confirmar y caracterizar a estos horizontes.

Generalmente bastan solo tres propiedades para establecer la horizonación de un suelo:

- ✓ Color.
- ✓ Textura.
- ✓ Estructura.

Aunque propiedades como la consistencia, la reacción ácida y otras, son a veces de gran ayuda, el más mínimo cambio detectado (en una sola o en varias de estas propiedades) es suficiente para diferenciar un nuevo horizonte.

2.3. Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas son aquellas que se refieren al arreglo, tamaño y distribución espacial de partículas y agregados, los cuales definen en gran parte a la proporción de macro y microporos responsables de la aireación, infiltración de agua, retención de humedad y flujo de calor en el suelo (Malagón, 1976).

2.3.1. El color del suelo

El color del suelo es una propiedad física relacionada con la longitud de onda del espectro visible que el suelo refleja al recibir los rayos de luz. El tono y la intensidad de los colores del suelo superficial y de sus horizontes permiten hacer inferencias sobre sus características y procesos pedogenéticos. El color del suelo está determinado por la cantidad y estado de los minerales de hierro y/o manganeso, así como de la materia orgánica, además de la existencia de procesos de oxidación o reducción. El color del suelo afecta, indirectamente, la temperatura y la humedad, a través de su efecto sobre la energía radiante. Un suelo de color oscuro, bajo la misma cantidad de energía radiante, se secará más rápidamente que uno de color claro, debido a que el suelo oscuro absorberá mayor cantidad de energía radiante y, por tanto, tendrá mayor cantidad de energía calorífica disponible para un mayor grado de evaporación. Una cubierta vegetal o de residuos de cultivo, reducirá estos efectos.

2.3.1.1. Relación entre el color y otras propiedades del suelo

A continuación (Cuadro N° 2) se enumeran algunos de los principales colores del suelo y su relación con otros factores.

Cuadro N° 2: Color del Suelo y su relación con otros factores

Color	Propiedades del suelo
Oscuro o negro.	Normalmente se debe a la presencia de materia orgánica, de forma que cuanto más oscuro es el horizonte superficial más contenido en materia orgánica se le supone. Es característico de horizontes A y, en ocasiones, de horizontes Bh. Si el color oscuro se restringe a nódulos y películas se le atribuye a los compuestos de hierro y, sobre todo, de manganeso.
Claro o blanco.	Normalmente se debe a los carbonatos de calcio y magnesio o al yeso u otras sales más solubles. Los carbonatos pueden presentarse con distintos patrones, de manera continua o discontinua: en forma de nódulos, películas sobre los agregados o pseudomicelios. Las sales como el ClNa pueden acumularse también formando una costra superficial. La acumulación de carbonatos o sales más solubles puede deberse a la presencia de estas sustancias en el material original o a la aridez del clima. En los horizontes eluviales (E), el color claro es consecuencia del lavado de las arenas (constituidas fundamentalmente por cuarzo).
Pardo amarillento.	Se debe a la presencia de óxidos de hierro hidratados, $\text{FeO}(\text{OH})$ (goethita), y unidos a la arcilla y a la materia orgánica.
Color rojo.	El color rojo aparece en el suelo como consecuencia de la alteración de minerales de arcilla, por lo que se presenta habitualmente en los horizontes Bw o Bt. Se debe a la liberación de óxidos férricos como la hematita (Fe_2O_3). Este proceso se ve favorecido en climas cálidos con estaciones de intensa y larga sequía, como el clima mediterráneo. El color rojo indica un buen drenaje del suelo, lo que permite la existencia de condiciones oxidantes para formar los óxidos.
Grises y abigarrados.	Se debe a la presencia de compuestos ferrosos y férricos. Estos colores son característicos de los suelos pseudogley con condiciones alternantes de reducción y oxidación. El abigarrado o veteado se presenta como grupos de manchas de colores rojos, amarillos y grises. Esta propiedad aparece en suelos que se encharcan durante un periodo del año. En ocasiones, puede deberse a la actividad de raíces de plantas que viven en condiciones de encharcamiento.
Gris y/o verdoso azulado	Se debe a la presencia de compuestos como el $\text{Fe}(\text{OH})_2$, arcillas saturadas con Fe^{2+} . Son característicos de suelos que sufren una intensa hidromorfia. Normalmente indica una falta de oxígeno en el suelo, bien por encharcamiento, bien por una baja porosidad.
Violeta	Indica la presencia de determinados minerales, como el yeso.

Los suelos agrícolas suelen presentar un color poco influenciado por la materia orgánica, ya que la aportación de residuos es mucho menor que en el caso de los suelos forestales. De esta manera, la distinción entre horizontes orgánicos y minerales es mucho más débil, debiendo apoyarse en otras propiedades como la textura o la estructura.

2.3.1.2. Determinación del color del suelo

La determinación del color se realiza de manera visual mediante el sistema Munsell. El color de una muestra de suelo se compara con muestras de color estándar, de manera que pueden identificarse tres parámetros:

- a. **Matiz.** La notación del matiz (H, del inglés *hue*) de un color indica su posición relativa en una escala de 100 matices de color distintos. La notación está basada en 10 clases principales: rojo (5R), rojo amarillento (5YR), amarillo (5Y), amarillo verdoso (5GY), verde (5G), verde azulado (5BG), azul (5B), azul púrpuro (5PB), púrpura (5P) y púrpura rojizo (5RP).
- b. **Brillo.** La notación del brillo (V, del inglés *value*) indica la luminosidad u oscuridad de un color en relación con una escala neutra de grises, que va desde el negro absoluto (0/) hasta el blanco absoluto (10/).
- c. **Intensidad.** La notación de la intensidad (C, del inglés *chroma*) indica el grado de alejamiento de un determinado matiz de color respecto a un gris neutro (5/) con el mismo brillo. La escala de la intensidad va desde /0 (gris neutro) hasta /10, /12, /14 o más, dependiendo de la muestra que se evalúe.

2.3.2. Textura

El término textura, se refiere la proporción de arena, limo y arcilla expresados en porcentaje.

En la fracción mineral del suelo, son de interés edafológico solamente las partículas menores de 2mm de diámetro. A las partículas mayores de 2 mm de diámetro se les denomina “modificadores texturales”, dentro de este concepto también se incluyen los carbonatos, la materia orgánica, las sales en exceso, etc., consecuentemente:

$$\% \text{ arena} + \% \text{ limo} + \% \text{ arcilla} = 100\%$$

La textura es una propiedad física primaria y guarda relación con otras, como por ejemplo:

- ✓ La permeabilidad
- ✓ La capacidad retentiva del agua
- ✓ La porosidad
- ✓ La aireación
- ✓ Las densidades real y aparente
- ✓ Capacidad de intercambio catiónico
- ✓ La estructura

Existen diversos sistemas de clasificación de las partículas minerales de acuerdo a su tamaño. El más definido y aceptado es el sistema USDA, que agrupa a las partículas de la siguiente manera:

- | | |
|--------------------|---------------|
| ✓ Arena muy gruesa | 1 - 2 mm |
| ✓ Arena gruesa | 0.5 - 1 mm |
| ✓ Arena media | 0.25 - 0.5 mm |
| ✓ Arena fina | 0.1 - 0.25 mm |
| ✓ Arena muy fina | 0.05 – 0.1 mm |
| ✓ Limo | 0.002-0.05 mm |
| ✓ Arcilla | < 0.002 mm |

De acuerdo a las diferentes proporciones de arena, limo y arcilla, los suelos son agrupados en clases texturales. Una clase textural, es el nombre con que se designa a un suelo de acuerdo a la fracción o fracciones predominantes. El sistema contempla 12 clases texturales:

- ✓ Arena -Arena franca -Franco arcillo limoso
- ✓ Limo - Franco arenoso -Franco arcillo arenoso
- ✓ Arcilla - Franco arcilloso -Arcillo limoso
- ✓ Franco - Franco limoso -Arcillo arenoso

2.3.2.1. Origen de la textura del suelo

Hay que considerar en primer término la roca madre; el suelo tendrá indiscutiblemente una tendencia congénita a ser arcilloso, limoso, arenoso, según que la roca sea arcillosa, limosa, o arenosa, en el caso de rocas sedimentarias y sedimentos, o bien que sea capaz de producir esos elementos en el curso de su alteración, si se presenta al estado de roca consolidada y coherente.

Esta tendencia puede ser favorecida o contrarrestada por la evolución. El humus aparece normalmente con todos los factores que condicionan su naturaleza (vegetación, clima, medio pedológico, etc.). El suelo puede entonces enriquecerse con humus cálcico y estabilizarse, o puede descalcificarse y ser lixiviado. En este caso, la proporción de arcilla disminuye en la superficie y aumenta en la profundidad. El humus puede dar lugar a migraciones capaces de transformar radicalmente la textura original, como por ejemplo en la podzolización. Mientras se produce esta evolución, la alteración de la roca madre puede continuar, puede enlentecerse y hasta detenerse.

Todas estas eventualidades influyen sobre la textura del suelo. Esta depende por lo tanto, en grados diversos, de la naturaleza de la **roca madre y de los procesos de evolución del suelo**. En resumen, la textura de un suelo será el resultado de la acción de los factores de formación de suelo y su intensidad de acción.

2.3.2.2. Diagrama textural

El Diagrama textural de la USDA es una herramienta para obtener las clases texturales en función de los porcentajes de arena, limo y arcilla.

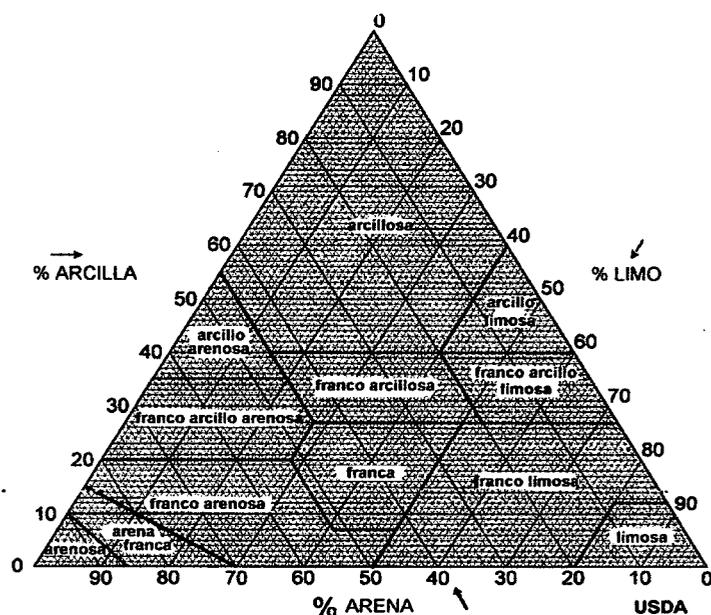


Figura N° 3: Diagrama textural de la USDA

El triángulo se divide en una serie de áreas que corresponden a las diversas clases texturales, que representan grupos de texturas con aptitudes o propiedades análogas. Las clases suelen asociarse en cuatro grupos principales que corresponden a las texturas arcillosas, limosas, arenosas y francas o equilibradas; según exista un componente dominante o una proporción adecuada de todos ellos.

Como se puede observar en el diagrama textural, varias son las clases texturales existentes, que a continuación pasamos a describir:

Cuadro N° 3: Clases texturales existentes

Clases de suelo	Proporciones en el suelo		
	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
Franco	Menos de 52	28 - 50	7 - 27
Franco limoso	Menos de 50	50 ó más	17 - 27
Franco limoso	Menos de 50	80 ó más	Menos de 12
Limoso	Menos de 20	80 o más	Menos de 12
Franco arcillo arenoso	45 ó más	Menos de 28	20 - 35
Franco arcilloso	20 - 45		27 - 40
Franco arcillo limoso	Menos de 20		27 - 40
Arcillo arenoso	45 ó más		35 ó más
Arcillo limoso		40 ó más	40 ó más
Arcilloso	Menos de 45	Menos de 40	40 ó más
Arenoso	85 ó más	% de limo, no más de 1½ partes de arcilla, no superior al 15 %.	
Arenoso franco			
Límite superior	85 - 90	% de limo, más de 1½ partes de arcilla, menor que el 15 %.	
Límite inferior	70 - 85		
Franco arenoso	52 ó más	% de limo, no más de 2 partes de arcilla, menor que el 30 % y 20 % de arcilla como máximo	
Franco arenoso	43 - 52	Menor que el 70 % de arcilla y menor que el 50 % de limo.	

Fuente: Rodríguez Suppo, F. "Riego por goteo". AGT. Editor S.R.

No obstante, todas estas clases texturales se agrupan en 4 grandes grupos que poseen características similares:

- a. Las **texturas arcillosas** dan suelos plásticos y difíciles de trabajar. Retienen gran cantidad de agua y de nutrientes debido a la microporosidad y a su elevada capacidad de intercambio catiónico. Aunque retengan agua en cantidad presentan una permeabilidad baja, salvo que estén bien estructurados y formen un buen sistema de grietas.
- b. La **textura arenosa** es la contrapuesta a la arcillosa, pues cuando en superficie hay una textura arenosa los suelos se conocen como ligeros, dada su escasa plasticidad y facilidad de trabajo. Presenta una excelente aireación debido a que las partículas dominantes de gran tamaño facilitan la penetración del aire. Únicamente cuando se producen lluvias intensas se puede producir encharcamiento o escorrentía, momento en el que la erosión laminar es muy importante. La acumulación de materia orgánica es mínima y el lavado de los elementos minerales es elevado.
- c. La **textura limosa** presenta carencia de propiedades coloidales formadoras de estructura, formando suelos que se apelmazan con facilidad impidiendo la aireación y la circulación del agua. Es fácil la formación de costras superficiales que impiden la emergencia de las plántulas.
- d. Las **texturas francas o equilibradas** al tener un mayor equilibrio entre sus componentes, gozan de los efectos favorables de las anteriores sin sufrir sus defectos, el estado ideal sería la textura franca y a medida que nos desviamos de ella se van mostrando los inconvenientes derivados.

2.3.3. Estructura

Para Porta, la estructura es una propiedad típicamente edáfica, que, de presentarse, permite diferenciar un suelo de un material geológico. Su importancia hace que sea una propiedad morfológica de referencia en los estudios del suelo en campo.

Las partículas de origen orgánico y mineral que constituyen el suelo no se encuentran aisladas unas de otras, sino que forman agregados estructurales (también llamados peds). Blackmore y Miller (1961) ya observaron cómo la montmorillonita cálcica puede disponerse en grupos de cuatro o cinco partículas, en función de diversas características del suelo. A cada uno de estos grupos lo llamaron "tactoide".

El hecho de que las partículas de suelo no formen una masa continua y compacta, sino que se asocian de manera que conforman un espacio de poros intercomunicados hace posible el desarrollo de la vida en el suelo.

Este espacio hueco, formado por poros, canales, cámaras y fisuras es el que permite el movimiento de gases y líquidos en el suelo, ofreciendo un entorno favorable a la actividad de los microorganismos y facilitando el crecimiento radicular de las plantas.

Algunos autores consideran que, más que una propiedad, la estructura es un estado del suelo, ya que cuando está seco, se pone de manifiesto, pero si está húmedo, el suelo se vuelve masivo, sin grietas, y la estructura no se manifiesta.

La estructura, por lo tanto, puede definirse de manera simple como la disposición espacial de las partículas del suelo.

Según Porta, la estructura es el ordenamiento de los granos individuales en partículas secundarias o agregados y el espacio de huecos que llevan asociado, todo ello como resultado de interacciones físico-químicas entre las arcillas y los grupos funcionales de la materia orgánica.

Para Baver et al. (1973), la estructura del suelo implica un arreglo u ordenación de las partículas primarias (arena, limo y arcilla) y secundarias (agregados de partículas primarias) en ciertos modelos o patrones estructurales, lo que incluye también al espacio de poros asociado.

Según la definición aceptada por el USDA (1951), estructura es la agregación de partículas primarias de un suelo en partículas compuestas o grupos de partículas primarias separadas de los agregados adyacentes por superficies de debilidad. De este modo, suelos que presenten valores semejantes de textura, pueden presentar propiedades físicas muy distintas, según el tipo de estructura que se halle presente.

2.3.3.1. Génesis de la estructura

La estructura del suelo es el resultado de su composición granulométrica, la actividad biológica y una serie de condiciones físico-químicas que permiten la aglomeración de las partículas (Figura 4). El predominio de unos u otros procesos origina los distintos tipos de estructura. En la formación de la estructura es muy importante la acción de los coloides (arcilla y materia orgánica) y las sustancias cementantes del suelo (carbonatos, sesquióxidos, etc.), que forman recubrimientos alrededor de las partículas más gruesas, englobándolas en grupos. Si no hay una proporción de coloides o sustancias cementantes suficiente, las partículas del suelo permanecen dispersas.

El grado de desarrollo de la estructura y la coherencia de los agregados depende del tipo de partículas presentes y de las fuerzas de atracción y/o repulsión que tengan lugar. Esto puede dar lugar a empaquetamiento de partículas o a la formación de agregados.

El **empaquetamiento** es un proceso físico que tiene lugar entre partículas en las que las fuerzas de atracción / repulsión son despreciables por la ausencia de carga eléctrica, como ocurre entre los granos de arena. En los suelos arenosos pueden existir fuerzas de cohesión entre las partículas debido a la tensión superficial de la película de agua adsorbida en la

superficie de los granos, lo que provoca una cierta capacidad de unión (Figura 4).

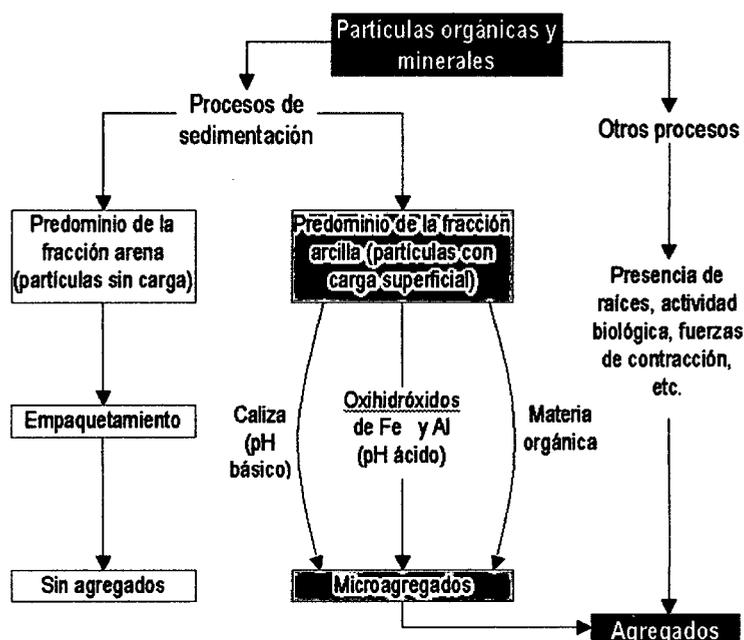


Figura N° 4: Génesis de la estructura.

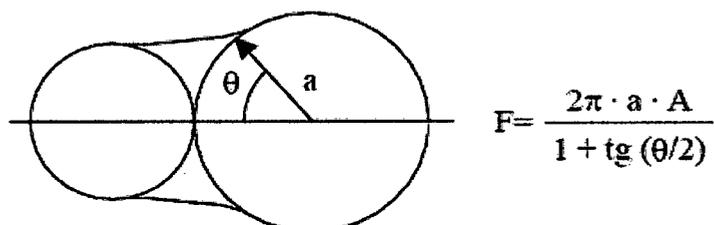


Figura 5: Fuerzas de cohesión entre partículas de arena. F = fuerza de unión entre partículas esféricas; a = radio de la partícula; A tensión superficial; θ = ángulo de contacto

Las fuerzas de unión por esta causa pueden explicar el menor riesgo de erosión eólica en suelos arenosos en estado húmedo que en estado seco.

La formación de **agregados** se inicia con la formación de unidades de fábrica o **microagregados**.

La presencia de partículas cargadas eléctricamente permite explicar la interacción entre las partículas del suelo y el agua o entre las partículas minerales y los grupos funcionales de la materia orgánica humificada.

Las fuerzas de mayor importancia en la estabilización de los microagregados se deben a los enlaces entre las arcillas y otros componentes del suelo:

1. El CO_3Ca actúa como un agente estabilizante. Favorece la floculación y precipita formando nódulos que incluyen a otras partículas.
2. Los sesquióxidos forman recubrimientos sobre las arcillas.
3. Los grupos funcionales de la materia orgánica humificada establecen puentes de hidrógeno con las arcillas.

Sin embargo, existe otro tipo de procesos que favorecen el desarrollo de los agregados, y tienen que ver con la actividad biológica:

1. La penetración de las raíces ensancha huecos preexistentes y deseca el suelo.
2. Los productos mucilaginosos secretados por microorganismos envuelven a las partículas del suelo formando microagregados.
3. Las lombrices remueven el suelo, contribuyendo a su estructuración, abriendo canales y favoreciendo la mezcla de materiales orgánicos y minerales.

2.3.3.2. Estabilidad de la estructura

La estructura del suelo no es un parámetro estable, sino que puede variar en función de las condiciones climáticas, el manejo del suelo, los procesos edáficos, etc. En general, las causas más importantes de la degradación de la estructura del suelo son las siguientes:

1. Expansión de las arcillas hinchables durante los períodos húmedos.
2. La lluvia, especialmente si es violenta y produce una dilución pasajera de los cationes que favorecen la floculación de los coloides.
3. La pérdida de materia orgánica.
 - a. La acidificación y/o descalcificación del suelo, que produce una desestabilización de los microagregados.

2.3.3.3. La estructura y su relación con la aplicación de fertilizantes y el crecimiento de las plantas

Casanova, E., 1996., menciona que una estructura favorable del suelo está íntimamente relacionada con la productividad del suelo (la habilidad del suelo a la respuesta de fertilizantes, agua y manejo). Sin embargo la estructura no está necesariamente relacionada a la fertilidad; un suelo fértil puede ser relativamente no productivo debido a una pobre estructura. La formación de costras llama mucho la atención en un suelo agrícola. Estas costras usualmente se forman como resultado de una pobre estructura del suelo. Un suelo con costras impide la infiltración del agua, limita la aireación y mecánicamente restringe la germinación y crecimiento radicular. La formación de una costra superficial es el indicativo de que la estructura a lo largo de toda la zona radicular es un problema.

Una estructura favorable a lo largo de la profundidad que alcanzan las raíces es muy importante para la capacidad de suplir nutrientes y del contenido y movimiento de agua y aire en todo el suelo.

Según Thompson L.M., Troeh F.R., 1988., un sistema radicular que no presenta restricciones en su crecimiento, ocupa un gran volumen del suelo y por lo tanto incrementa la probabilidad de contactar a los nutrientes móviles. Esta misma situación es lógica para alcanzar o atrapar los nutrientes que se mueven por movimiento o flujo de masas en el suelo. Una estructura favorable del suelo permite una rápida proliferación del sistema radicular, mientras que un suelo compactado restringe el crecimiento de raíces. Si las raíces no crecen lo suficiente debido a condiciones adversas de estructura del suelo, la fertilidad ya sea natural o creada con fertilizantes, es menos beneficiosa para el cultivo. El movimiento del agua en el suelo puede ser un factor limitante.

Una pobre estructura del suelo impide el movimiento del agua, en ambas direcciones, vertical y horizontal o lateral. Esto decrece la oportunidad para que las raíces reciban el suplemento adecuado de los elementos móviles o

nutrientes. Una buena estructura permite una infiltración favorable del agua en el suelo. A menudo un aspecto poco tomado en cuenta con relación a la estructura del suelo, es la aireación. La estructura del suelo influencia a la aireación de dos maneras:

1. La tasa de difusión de aire en el suelo, y
2. El movimiento del volumen total de aire en el suelo.

La tasa y el movimiento del volumen total de aire en el suelo son importantes para suplir de oxígeno, tanto a las raíces como a los microorganismos y para servir como medio para el intercambio gaseoso entre el suelo y la atmósfera.

El espacio poroso del suelo, está determinado grandemente por la estructura del suelo y es la clave para un suplemento óptimo de aire y agua para las raíces de la planta. Sin un adecuado contenido de aire y agua, los fertilizantes no son capaces de demostrar su total potencial para incrementar la toma de nutrientes por la planta.

2.3.4. Densidad aparente del suelo.

La densidad aparente se define como el peso seco de una unidad de volumen de suelo. Los factores que la afectan son principalmente tres: la textura, la estructura y la presencia de materia orgánica. Suelos con texturas arenosas tienden a tener densidades mayores que suelos más finos, al mismo tiempo en suelos bien estructurados los valores son menores. (Donoso 1992).

Las rotaciones de cultivos y los sistemas de labranzas inciden sobre la estabilidad estructural, factor determinante de una adecuada distribución de la porosidad que influye en el perfil de humedad y el correcto intercambio gaseoso, los cuales posibilitan que las raíces exploren el suelo para proveer a la parte aérea de los nutrientes y agua necesarios para el desarrollo. Barbageleta et al. (2000), citado por Drganc et al. (2001)

La densidad aparente del suelo es la relación entre la masa o peso del suelo seco (peso de la fase sólida) y el volumen total, incluyendo al espacio poroso. En agricultura, la masa del suelo se refiere al peso después de secar el suelo en estufa a 110° C durante 24 hr o hasta peso constante y, el volumen, se refiere a la fracción menor de 2 mm de diámetro.

$$\rho_b = M_s/V_t$$

Esta medida permite ver la facilidad de penetración de las raíces al suelo, permite la predicción de la transmisión de agua, la transformación de los porcentajes de humedad gravimétrica del suelo en términos de humedad volumétrica y, consecuentemente, calcular la lámina de agua en el suelo. Además, permite calcular la porosidad total de un suelo cuando se conoce la densidad de las partículas, y estimar la masa de la capa arable.

En un mismo suelo, el valor de densidad aparente es un buen índice del grado de compactación por medio del cálculo de la porosidad, es decir, la reducción del espacio poroso con radio equivalente mayor, llamado también espacio poroso no capilar, responsable del drenaje rápido del exceso de agua y, por ende, de la aireación del suelo; resultando ser la densidad aparente, un buen indicador de la calidad del suelo.

2.3.5. Temperatura del suelo y edafoclima

La proporción de energía solar que llega al suelo se estima en 144 cal/día/cm², pero esta cantidad varía según la latitud y la época del año, etc. La energía calorífica recibida por el día eleva la temperatura del suelo y evapora el agua y por la noche ocurre el efecto contrario. Por lo tanto ocurre una oscilación diurna de temperatura que es característica de cada suelo.

El suelo recibe las radiaciones procedentes del Sol y se calienta. Su temperatura depende de cómo lleguen las radiaciones a la superficie (humedad atmosférica, transparencia, nubosidad, precipitaciones, vientos,

topografía, cobertura vegetal, etc) y de cómo el suelo las asimile (humedad, color, calor específico, conductividad, etc.)

La temperatura del suelo está directamente relacionada con la temperatura del aire atmosférico de las capas próximas al suelo. La temperatura del suelo, como la del aire, está sometida a cambios estacionales y diurnos. Estas oscilaciones se van amortiguando hacia los horizontes profundos.

La distribución de la temperatura con la profundidad constituye el perfil térmico. La temperatura del suelo es una medida de la que se dispone de muy pocos datos. Se acepta que la temperatura del suelo a 50 centímetros de profundidades equivalente a la del aire atmosférico más 1 grado centígrado.

2.3.5.1. Factores de calentamiento superficial del suelo: Suelos cálidos y suelos fríos

La variación de la temperatura de los suelos depende de:

- ✓ El color: Ya que se calientan antes los suelos más oscuros.
- ✓ El contenido en agua: Ya que son necesarias más calorías para elevar la temperatura de un suelo húmedo.
- ✓ La cubierta vegetal: Se comporta como una pantalla que amortigua los cambios de temperatura.

2.3.5.2. La difusión calorífica en profundidad:

Perfiles térmicos informan sobre la variación de la temperatura del suelo en profundidad.

De su estudio se deduce que en los horizontes profundos las oscilaciones de temperaturas estacionales están retrasadas y amortiguadas con relación a las de los horizontes de superficie.

La conductividad térmica de los suelos varía según su grado de humedad y aireación. Los horizontes húmicos de superficie cuando están bien aireados constituyen una pantalla protectora que se opone tanto a la difusión del vapor como a la del vapor de agua.

2.3.5.3. Acción de la temperatura del suelo y de sus variaciones

a). Acción sobre la edafogénesis

La temperatura juega un papel esencial tanto en los procesos de alteración como en la descomposición de la hojarasca. La maduración de los compuestos húmicos esta muy relacionada con la existencia de periodos secos con fuerte elevación de temperatura. Y la alteración bioquímica de los climas fríos contrasta con la alteración geoquímica de las regiones cálidas.

Además las temperaturas elevadas favorecen el endurecimiento por cimentación de los compuestos férricos y el hielo actúa favoreciendo las estructuras por fragmentación o produciendo crioturbación según sea su intensidad.

b). Acción sobre la vegetación

La distribución de las plantas esta fuertemente afectada por la temperatura de los suelos. Y los efectos que causan la temperatura sobre la fisiología de las plantas son muy adversos cuando es muy extrema.

2.3.5.4. Noción de edafoclima

La combinación de temperatura, humedad y aireación y sus variaciones, constituyen el edafoclima. Para un mismo clima general existen numerosos edafoclimas diferentes. Como ejemplo tomemos los edafoclimas sobre calizas jurásicas situados en la cima de una ladera y los situados en la base. Suelos cálidos y secos en la cima y suelos húmedos y fríos en la base.

Algunas clasificaciones concedieron una gran importancia al edafoclima a la hora de definir las subclases, por ejemplo la clasificación francesa de 1967 y la *Soil Taxonomy*.

2.3.6. Profundidad efectiva:

Se puede definir a la profundidad del suelo como aquellas profundidades donde se acumula el material favorable para la penetración de las raíces de la planta. Los suelos favorables para la producción de cultivos son los suelos profundos, de buen drenaje y con estructura y textura adecuadas. Las plantas necesitan suficiente profundidad para que las raíces crezcan y aseguren nutrientes y agua. Las raíces se extienden hasta más de 2 metros si las condiciones del suelo lo permiten. En alfalfa por ejemplo, se pueden establecer profundidades de 3 a 4 metros, aun en suelos compactados.

La profundidad de las raíces puede estar limitada por barreras físicas y químicas así como por la presencia de un manto freático alto. Las capas de suelo endurecidas, las capas de grava y las acumulaciones de sales son condiciones extremadamente difíciles de corregir, pero un manto freático alto generalmente se puede corregir con un buen drenaje. El cuadro N° 5, califica la productividad relativa del suelo de acuerdo a la profundidad.

Cuadro N° 4: Influencia de la profundidad del suelo en la productividad relativa.

Profundidad del suelo que puede ser explotada por las raíces (metros)	Productividad relativa (%)
0.3	35
0.6	60
0.9	75
1.2	85
1.5	95
1.8	100

Fuente: *Cuaderno Práctico de Edafología*. AEA. Kaplan, A. Rucks, I., Telechea, I. Mandl, A.

Esta determinación se puede hacer abriendo un perfil de al menos un metro de profundidad o haciendo uso de una barrena o sonda de suelos. Recordemos que por estas razones la descripción y clasificación de suelos de la FAO se lleva a cabo teniendo en cuenta tan solo el metro

superficial (si el material parental o la roca madre no afloran antes). Por el contrario, la USDAS oil Taxonomy tiene en cuenta los horizontes de suelos existentes hasta 2 metros de profundidad.

2.3.7. Permeabilidad del suelo:

Una característica asociada a la porosidad es la permeabilidad o facilidad que tiene el suelo para dejarse penetrar por los fluidos. No solo los valores absolutos de porosidad bastan para estimar la permeabilidad del suelo sino algunos otros factores como la geometría del sistema poroso. Así una estructura hojosa deja una gran porosidad pero dificulta notablemente la circulación del agua, al igual que sucede cuando no existe una buena interconexión entre los componentes de la macroporosidad.

Se indica por la velocidad de circulación del agua de gravedad o conductividad hidráulica, y es tanto más elevada cuanto la porosidad no capilar sea más grande. Esto se explica fácilmente si recordamos que el agua de gravedad circula a través de los macroporos del suelo, esto es de los huecos no capilares del mismo. El fenómeno de la permeabilidad admite varias acepciones según el punto de vista bajo el que se considere. Para un agricultor la permeabilidad es el tiempo que su suelo exige para secarse. El edafólogo considera las mismas propiedades del punto de vista del lavado y de las migraciones descendentes de los elementos del suelo. Por último para el que riega, la permeabilidad representa la facilidad de penetración del agua en el suelo y la rapidez con que avanza el frente de humectación. Tanto si se mira bajo el prisma del agua que penetra, como de la que escurre, siempre el factor común es la velocidad del proceso.

Sobre la permeabilidad influyen tres factores primordiales del suelo: la textura, la estructura y el contenido en materia orgánica.

2.3.7.1. La permeabilidad del suelo se relaciona con su textura y estructura

El tamaño de los poros del suelo reviste gran importancia con respecto a la tasa de **filtración** (movimiento del agua hacia dentro del suelo) y a la tasa de **percolación** (movimiento del agua a través del suelo). El tamaño y el número de los poros guardan estrecha relación con la textura y la estructura del suelo y también influyen en su permeabilidad.

2.3.7.2. Variación de la permeabilidad según la textura del suelo

Por regla general, como se muestra a continuación, mientras más fina sea la textura del suelo, más lenta será la permeabilidad:

Cuadro N° 5: Variación de la permeabilidad según la textura

Suelo	Textura	Permeabilidad
Suelos arcillosos	Fina	De muy lenta a muy rápida
Suelos limosos	Moderadamente fina	
	Moderadamente gruesa	
Suelos arenosos	Gruesa	

Cuadro N° 6: Permeabilidad media para diferentes texturas de suelo en cm/hora

Arenosos	5.0
Franco arenosos	2.5
Franco	1.3
Franco arcillosos	0.8
Arcilloso limosos	0.25
Arcilloso	0.05

2.3.7.3. Variación de la permeabilidad según la estructura del suelo

La estructura puede modificar considerablemente las tasas de permeabilidad mostradas anteriormente de la forma siguiente:

Cuadro N° 7: Variación de la permeabilidad según la estructura del suelo

Tipo de estructura		Permeabilidad ¹
Laminar	- Gran traslapo	De muy lenta a muy rápida
	- Ligero traslapo	
En bloque		
Prismática		
Granular		

2.3.7.4. Clases de permeabilidad del suelo

La permeabilidad del suelo suele medirse en función de la velocidad del flujo de agua a través de éste durante un período determinado. Generalmente se expresa o bien como una tasa de permeabilidad en centímetros por hora (cm/h), milímetros por hora (mm/h), o centímetros por día (cm/d), o bien como un coeficiente de permeabilidad en metros por segundo (m/s) o en centímetros por segundo (cm/s).

Cuadro N° 8: Clases de permeabilidad de los suelos para la agricultura y su conservación

Clases de permeabilidad de los suelos	Índice de permeabilidad ¹	
	cm/hora	cm/día
Muy lenta Lenta	menor de 0.13	menor de 3
Lenta	0.13 - 0.3	3 - 12
Moderadamente lenta	0.5 - 2.0	12 - 48
Moderada	2.0 - 6.3	48 - 151
Moderadamente rápida	6.3 - 12.7	151 - 305
rápida	12.7 - 25	305 - 600
Muy rápida	mayor de 25	mayor de 600

2.3.8. Humedad del suelo

La humedad del suelo influye en muchas propiedades físicas, tales como la densidad aparente, espacio poroso, compactación, penetrabilidad, resistencia al corte, consistencia, succión total de agua y color del suelo. La humedad del suelo es muy dinámica y depende del clima, vegetación, profundidad del suelo, y de las características y condiciones físicas del perfil. Se entiende por humedad del suelo a la masa de agua contenida por unidad de masa de sólidos del suelo.

La humedad del suelo se puede expresar gravimétricamente, con base en la masa, o volumétricamente, con base en el volumen. La humedad gravimétrica (w) es la forma más básica de expresar la humedad del suelo. Tiene las unidades de kg kg^{-1} . La humedad volumétrica, generalmente, se calcula como un porcentaje del volumen total del suelo.

$$\theta = \frac{V_w}{V_t} = \frac{V_w}{V_s + V_f} \qquad V_f = V_a + V_w$$

Donde V_w es el volumen del agua, V_s volumen de sólidos, V_f volumen de poros, y V_t el volumen total de la muestra representativa.

2.3.9. Contenido de materia orgánica del suelo

En suelos agrícolas, la materia orgánica suele representar el 1 – 3% de los constituyentes del suelo, mientras que en suelos forestales, este porcentaje puede elevarse mucho. El horizonte superficial es, normalmente, el que contiene un mayor contenido en materia orgánica, mientras que el contenido va disminuyendo progresivamente con la profundidad. Solamente bajo determinadas condiciones de precipitación y drenaje del suelo puede acumularse materia orgánica en profundidad a causa del intenso lavado de los horizontes más superficiales.

En los suelos agrícolas con similares técnicas de cultivo, se ha comprobado que la variación del contenido de materia orgánica se debe a la influencia de la temperatura y la precipitación (Jenny, 1930). Según

Cobertera (1986), existe una estrecha relación entre la temperatura media anual, la precipitación y el contenido en materia orgánica de los suelos agrícolas bajo las mismas técnicas de cultivo. De este modo, es posible establecer la proporción de materia orgánica de un suelo en función del clima. El clima influye tanto en la producción de biomasa de los ecosistemas como en la transformación posterior de la materia orgánica en el suelo.

La determinación de la materia orgánica del suelo es, debido a la variedad de sustancias que la componen, un asunto complejo. Más aún cuando algunos de los procesos que tienen lugar en la secuencia de transformaciones son aún desconocidos. En la mayor parte de los casos, sólo interesa el contenido en carbono orgánico de cada horizonte del suelo, para poder establecer la relación C/N. Este parámetro sirve para describir la mineralización y humificación de la materia orgánica del suelo.

La determinación de la materia orgánica se puede hacer mediante dos grupos de métodos principales: vía seca y vía húmeda.

Los métodos por vía seca constituyen en la calcinación de la muestra, con objeto de conocer con precisión el bloqueo de los elementos totales, sin interferencias de complejos orgánicos. También se aplican a casos especiales, como muestras con una elevada cantidad de materia orgánica en que la determinación por oxidación no es precisa.

La determinación de la materia orgánica por vía húmeda constituye en realidad una aproximación, ya que se determina el contenido total de materia orgánica de manera muy aproximada a partir del contenido en carbono orgánico, multiplicándolo por un factor de conversión (Cuadro N° 9). Este tipo de métodos consisten en una oxi-reducción de la materia orgánica. El método más empleado es la oxi-reducción con dicromato potásico ($\text{Cr}_2\text{O}_7\text{K}_2$), según el método de Walkley-Black (1934).

Cuadro N° 9. Factor de conversión de la materia orgánica (factor de Duchaufour).

Suelos de cultivo	M.O. (%) = C (%) · 1.72
Suelos de pradera y bosques	M.O. (%) = C (%) · 2.00

2.3.9.1. La materia orgánica en los suelos cultivados

En el caso de los suelos cultivados, la influencia de factores edafogenéticos como el clima o la vegetación se ven profundamente modificados debido a las prácticas de cultivo.

De modo general, puede decirse que la transformación que lleva a cabo el Hombre sobre los suelos cultivados produce un aumento de la tasa de mineralización de la materia orgánica. Esto tiene como efecto un aumento apreciable de las concentraciones de los elementos nutritivos asimilables en el suelo, y por lo tanto, un aumento de la fertilidad.

Sin embargo, al no ser sustituido el humus que se mineraliza, el suelo sufre un empobrecimiento progresivo en coloides orgánicos, lo que origina una disminución en la capacidad de cambio catiónico del complejo coloidal adsorbente y una pérdida de nutrientes. Además, la disminución del contenido en materia orgánica del suelo implica una degradación de sus propiedades físicas desde el punto de vista agrícola, como la estructura, la porosidad, la capacidad de drenaje, etc. Para evitar el empobrecimiento progresivo del suelo y permitir el mantenimiento de la producción, existen básicamente dos técnicas:

- 1) En los países occidentales se realiza el cultivo de "parcela fija". El agricultor debe recurrir al abonado mineral para aumentar la concentración de los nutrientes y a la adición de materia orgánica artificialmente al suelo, o bien al barbecho, técnica extensiva que permite la recuperación anual del suelo de forma natural.
 - 2) En diversos países de África y Sudamérica se practica la agricultura itinerante. Se cultivan áreas de poca extensión. El suelo cultivado es abandonado al cabo de un período de tiempo que oscila entre 2 y 5 años, dependiendo del rendimiento y otros condicionantes ecológicos y sociales. En ese momento se comienza a explotar un nuevo punto del que se retira la vegetación original, generalmente mediante el fuego.
- Esto permite la evolución del suelo de manera natural y la rápida recuperación de los terrenos abandonados.

2.4. Propiedades químicas de los suelos

2.4.1. pH del suelo

2.4.1.1. Definición:

Químicamente se establece que el pH es el logaritmo de la inversa de la concentración de iones H^+ , cuyo valor varía teóricamente entre 0 y 14. En el suelo, la cantidad de iones H^+ , en relación a los iones básicos, es lo que determina la reacción o acidez activa, que se expresa por el pH del suelo. Este concepto fue introducido por el químico danés Sören Sørensen, que se resume en la siguiente fórmula:

$$pH = -\log (H^+) \text{ ó } pH = \log 1/H^+$$

El significado práctico de esta expresión logarítmica del pH es que cada cambio de una unidad de pH, representa un cambio de una magnitud diez veces mayor en la acidez o alcalinidad del suelo.

Para aclarar conceptos, es necesario indicar que el término pH se aplica a soluciones, por lo tanto, al decir pH del suelo no se aplica correctamente, pues la determinación se la efectúa en lo que corresponde a una solución acuosa del suelo, definida convencionalmente en una proporción de 2:1, pero no corresponde a una solución ni a un extracto del suelo. Por lo tanto, tampoco sería correcto decir pH de la solución del suelo, pues ésta es extraída por medio de extractores o lisímetros para determinar la acidez potencial.

2.4.1.2. Importancia del pH del suelo:

El pH es una propiedad química del suelo muy importante, especialmente por su carácter orientador sobre el comportamiento del suelo, porque define la relativa condición básica o ácida del suelo, que ejerce influencia directa sobre las características químicas, físicas y biológicas del mismo. Tiene también importancia porque influye en la aprovechabilidad de los nutrimentos que requiere la planta, y por lo tanto, de él depende el uso de tratamientos adicionales o enmiendas para modificar las condiciones de acidez o alcalinidad excesiva que pueda existir y que afectarán la respuesta del fertilizante que se aplique. Conforme se aleja del pH óptimo,

el crecimiento de las plantas puede verse afectado, hasta que cerca de los extremos de la escala las condiciones son más adversas y se vuelve esencial la aplicación de enmiendas.

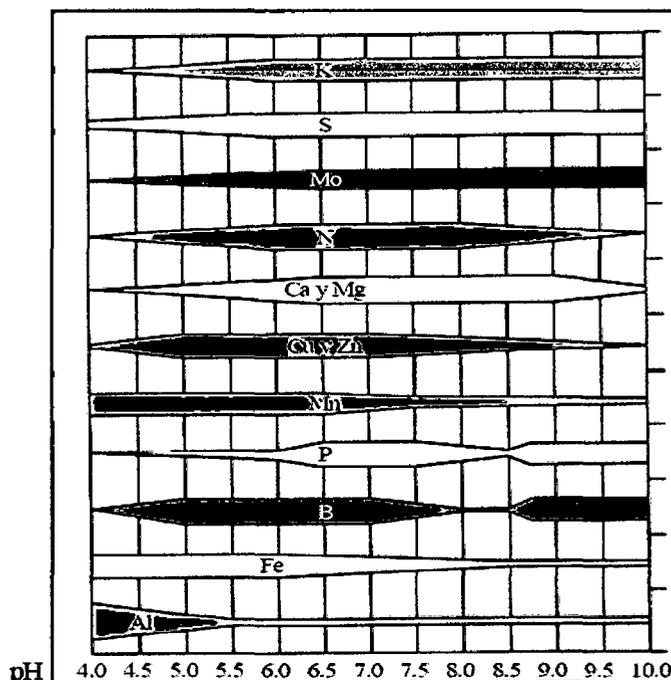
En resumen, desde el punto de vista químico, el pH del suelo tiene las siguientes relaciones:

- ✓ Afecta la solubilización, disponibilidad y absorción de algunos nutrientes en el suelo, como Ca, Mg, K, P y elementos menores. Cuanto mayor es el pH, es más alto el contenido de Ca y Mg.
- ✓ Afecta el porcentaje de saturación de bases y el porcentaje de saturación de acidez. La relación entre la saturación de bases y el pH es directa.
- ✓ Afecta la generación de carga variable, y por lo tanto, la capacidad de intercambio catiónico y aniónico. Es de aclarar que la capacidad de intercambio catiónico depende de otros factores, como el contenido de materia orgánica. La CICE está en estrecha relación con el pH, por lo tanto baja en pH ácidos por la pérdida de bases.
- ✓ No se encuentra relación entre el pH del suelo y la conductividad eléctrica, por lo tanto se puede encontrar altas conductividades en un amplio rango de pH. Generalmente, en pH neutro a básico, la salinidad es de origen natural, pero en pH ácido la salinidad puede deberse a mal manejo de la fertilización.
- ✓ Biológicamente, el pH tiene las siguientes relaciones:
 - Influye en los tipos de organismos presentes y en su actividad.
 - A pH menor de 5.5, la actividad de las bacterias y actinomicetes es baja.
 - Los hongos se adaptan y desarrollan en un pH más amplio.
 - Los procesos de nitrificación, fijación de nitrógeno, mineralización y amonificación prosperan mejor bajo condiciones neutras, porque la participación de las bacterias en estos procesos es determinante.
 - Respecto al desarrollo de las plantas, cada tipo de cultivo tiene requerimientos específicos genéticos de pH, sin embargo,

como regla general, a pH inferiores a 4 se producen trastornos en el sistema radical por efectos directos del ión H^+

La siguiente figura muestra objetivamente la relación del pH del suelo con la asimilabilidad de los elementos.

Figura N°6: relación del pH del suelo con la asimilabilidad de los elementos



FUENTE: IMPOFOS Manual Internacional de Fertilidad de Suelos. 1997.

2.4.2. Cambio iónico del suelo

Los elementos químicos del suelo pueden ocupar distintos compartimentos:

1) En la fase sólida.

- a. Inmovilizados en una red cristalina.
- b. Inmovilizados en aluminosilicatos amorfos.
- c. Inmovilizados en compuestos orgánicos.

2) En la fase líquida, disueltos en la solución del suelo. El agua de este sistema corresponde al agua capilar y gravitacional del suelo, y es donde se disuelven las sustancias minerales solubles procedentes de la mineralización, meteorización e hidrólisis de los minerales primarios. Los iones presentes en la solución del suelo se encuentran hidratados, rodeados por un número determinado de moléculas de agua. La hidratación tiene un efecto importante sobre

la movilidad de los iones, ya que aumenta considerablemente su radio iónico. Los elementos contenidos en la fase líquida pueden ser transportados o perdidos por lavado.

3) En la interfase sólido-líquido. En este caso, los elementos se hallan localizados en la superficie de las partículas (adsorbidos) y en su área de influencia, de modo que se hallan en íntimo contacto con la solución. La adsorción es la asociación de una partícula (un átomo, molécula o ión) a la superficie de un sólido.

El sistema responsable del proceso de intercambio se halla precisamente en este último compartimento, y es también llamado complejo de cambio, complejo coloidal o complejo adsorbente. Este complejo está constituido fundamentalmente por arcillas y materia orgánica humificada, y posee carga negativa, lo que le permite la adsorción de cationes. Cada tipo de catión tiene un equilibrio propio entre la solución del suelo y el complejo de cambio. Este equilibrio depende de factores como la carga y tamaño del ión, la competencia con otros cationes o la constitución de los componentes del complejo de cambio.

La adsorción se debe a la interacción entre partículas en disolución y la superficie de los sólidos por medio de diferentes mecanismos:

- 1) Fuerzas físicas:
 - a. Fuerzas de *Van der Waals*.
 - b. Puentes de hidrógeno.
- 2) Enlace iónico.
- 3) Enlace covalente.

De este modo, las partículas en disolución pueden ser adsorbidas por la fase sólida del suelo. Esto implica a los minerales de arcilla y a la materia orgánica.

La carga en superficie que presentan los coloides del suelo se origina por las siguientes causas:

- 1) Las sustituciones isomórficas en la estructura cristalina de las arcillas, lo que origina cargas permanentes independientes del pH.
- 2) La rotura de borde y en grupos funcionales, que origina cargas variables, dependientes del pH.
 - a. En la fracción mineral. En este caso se trata de cargas localizadas en el borde de la estructura cristalina, donde la carga está descompensada, como en el caso de la caolinita. También ocurre en minerales no cristalinos como los óxidos, hidróxidos, alofanas e imogolita. A su vez, los grupos $-OH$ pueden disociarse y originar cargas negativas en la superficie del mineral, a las que, en medio ácido, se pueden unir protones. Esto origina cargas positivas en las zonas de borde.
 - b. En la fracción orgánica, donde el equilibrio con los protones afecta a los grupos hidroxilos ($-OH$), carboxilos ($-COOH$), fenoles (C_6H_4OH) y aminas ($-NH_2$).

2.4.2.1. Intercambio iónico

El intercambio iónico del suelo es un proceso físico-químico complejo. Fue puesto de manifiesto por Thompson y Way, a mediados del siglo XIX, mediante la percolación de diversas soluciones a través de columnas con arena, arcilla y materia orgánica, de modo que la composición del líquido al salir de la columna había variado respecto al inicial.

La capacidad del suelo para intercambiar iones tiene algunas consecuencias importantes, entre las que destacan las siguientes:

- 1) El suelo puede regular la disponibilidad de nutrientes para las plantas.
- 2) El intercambio iónico interviene en los procesos de floculación / dispersión de las arcillas.
- 3) El suelo puede retener elementos contaminantes o tóxicos, de manera que su efecto sobre el sistema se ve reducido.

2.4.3. Cambio catiónico

2.4.3.1. Capacidad de intercambio catiónico

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) puede definirse como la capacidad total de los coloides del suelo (arcilla y materia orgánica) para intercambiar cationes con la solución del suelo.

Según Sposito (1989) esta capacidad se ve influenciada por factores como la temperatura, la presión, la composición de la fase líquida y la relación de masa de suelo / solución.

La CIC se expresa en $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$. Para cada sustancia, su valor depende de la densidad de carga superficial y de su superficie específica, de modo que puede variar de unos coloides a otros. En el caso de la fracción mineral, la distinta superficie específica condiciona la baja CIC de limos y arenas, frente al elevado valor que presentan las arcillas. Dentro de las arcillas, a su vez, la carga superficial varía enormemente de un tipo a otro. En el caso de la materia orgánica, sin embargo, la CIC se ve condicionada por el grado de humificación / descomposición que presenta.

Por lo tanto, este parámetro afecta al movimiento y retención de cationes en el suelo, a la nutrición vegetal y a la capacidad tampón del suelo.

Los cationes ligados al complejo de cambio no pueden ser directamente absorbidos por la planta ni perderse por lavado hacia las capas internas del perfil por causa del riego o las precipitaciones, lo que sí ocurre con los cationes de la solución del suelo.

Cuando la concentración en el suelo de un determinado catión disminuye por lavado o por absorción de las raíces, parte de los cationes retenidos en el complejo de cambio pueden desplazarse hacia la solución del suelo para restaurar el equilibrio. Del mismo modo, los cationes dominantes en la solución del suelo pueden competir con éxito frente al resto por los lugares de unión a la arcilla: en los suelos ricos en Ca^{2+} , este catión puede saturar el complejo de cambio, lo que produce pérdidas por lavado de otros cationes.

Los suelos ácidos contienen una cantidad considerable de cationes hidrógeno. La acidificación del suelo puede ser debida a causas naturales (materia original pobre en cationes básicos, lavado de calcio en regiones de clima lluvioso, etc.) o provocada por el hombre (incorporación de residuos o fertilizantes ácidos, lluvia ácida causada por ciertas industrias, etc.). La causa más frecuente de la acidificación del suelo es el lavado del calcio en regiones con mucha pluviometría. En regiones áridas y semiáridas suele haber suficiente contenido de calcio, pero no así en las regiones muy lluviosas. Los suelos ácidos no son favorables para el desarrollo de la mayoría de los cultivos, por lo que es preciso corregir la acidez, tratando de sustituir los cationes hidrógeno por cationes calcio (Sánchez, 2007).

2.4.3.2. Saturación en bases del complejo de cambio

La CIC no explica totalmente las características del complejo de cambio del suelo. Suelos con la misma CIC pueden ofrecer comportamientos distintos. Esto se debe a la diferente cantidad de cationes adsorbidos o a la diferente composición de estos.

Los cationes de cambio pueden ser de distintos tipos:

- 1) Cationes básicos. Aquí se incluyen cationes como el Ca^{2+} , el Mg^{2+} y el K^{+} . El Na^{+} se incluye también en este grupo, aunque se halla en muy baja proporción, y predomina sólo en el caso de los suelos salino-alcálinos.
- 2) Cationes ácidos. En este grupo se incluyen los protones, procedentes de los ácidos húmicos, y el Al^{3+} , procedente de la alteración química del material original.

En función de la naturaleza de la roca, las condiciones bajo las que se desarrolla el suelo, o de los procesos edáficos que tengan lugar, la cantidad y composición de los cationes adsorbidos al complejo coloidal variará de una forma u otra.

La saturación en bases del complejo de cambio se expresa como porcentaje (V) y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$V = \frac{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] + [K^+] + [Na^+]}{CIC} \times 100$$

Donde $[Ca^{2+}]$, por ejemplo, es la cantidad de cationes de calcio expresada en $cmol(+)/kg$ de suelo.

La Figura 8 muestra la representación gráfica de la relación entre la composición de los cationes de cambio y el grado de saturación o desaturación (acidez / basicidad) de los suelos.

Observando la figura se pueden establecer tres tipos de suelos:

- 1) Suelos desaturados, con presencia importante de cationes ácidos (H^+ y Al^{3+}). La presencia de aluminio indica una elevada acidez y fitotoxicidad.
- 2) Suelos poco saturados a saturados, neutros a ligeramente básicos, con presencia mayoritaria de Ca^{2+} y Mg^{2+} en el complejo de cambio. No existe aluminio, y los protones ocupan sólo el 12 – 30 % del complejo.
- 3) Suelos muy saturados, donde el porcentaje de H^+ oscila entre el 4 y el 15 %. En los suelos más básicos, el sodio de intercambio llega a representar hasta el 75 % del complejo.

2.4.3.3. Significado agronómico de la cic

La Figura N° 7 muestra la relación de la CIC de los suelos con parámetros como el pH o la textura del suelo. Así, los primeros dos ejemplos poseen la misma CIC ($20\text{ cmol}(+)/kg$). Sin embargo, en el primer caso se trata de un suelo ácido, con una elevada concentración de protones en la solución y el complejo de cambio. La saturación en bases es moderada:

$$\frac{10\text{ cmol}(+)/kg}{20\text{ cmol}(+)/kg} \times 100 = 50\%$$

En el segundo caso, el pH es neutro, y predominan los cationes básicos frente a los protones. La saturación del complejo de cambio es, por lo tanto, más elevada:

$$\frac{16 \text{ cmol}(+) / \text{kg}}{20 \text{ cmol}(+) / \text{kg}} \times 100 = 80\%$$

En el tercer caso, la CIC total del suelo es de 10 cmol(+)/kg, lo que puede ser debido a la textura, que en este ejemplo es franco arenosa. La mayor proporción de partículas gruesas, con una superficie específica baja y menor densidad de carga disminuye la CIC del suelo. El pH, sin embargo, es también neutro, lo que influye en la saturación del complejo de cambio, similar a la del segundo caso.

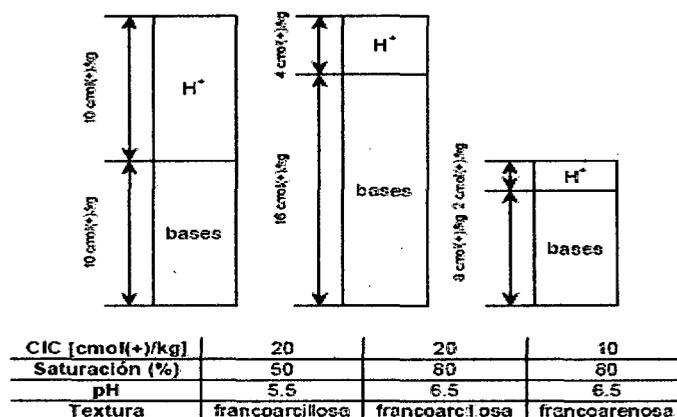


Figura 7. Valor de CIC y saturación de tres suelos en función de la acidez y la textura (a partir de Buckman, 1977).

La CIC está estrechamente relacionada con la fertilidad del suelo, ya que una elevada CIC significa una elevada capacidad de almacenar nutrientes, y una disminución del riesgo de pérdida por lavado de los nutrientes. Si el contenido en cationes asimilables es demasiado bajo, estos pueden quedar retenidos en el complejo de cambio y no estar disponibles para las plantas. Sin embargo, hay que tener en cuenta que un valor elevado de CIC también significa que, en el caso de un suelo desaturado, inmediatamente tras el abonado, los nutrientes pueden encontrarse adsorbidos en el complejo de cambio, de modo que no estarán disponibles para la planta.

Tanto la capacidad total de intercambio catiónico como la saturación del complejo adsorbente son conceptos importantes a la hora de evaluar la fertilidad química.

El cuadro N° 10 muestra la clasificación del suelo según la saturación del complejo de cambio del suelo. Los valores de CIC permiten comparar suelos distintos, pero hay que tener en cuenta que, dentro de un mismo suelo, la CIC puede variar entre horizontes, indicando diferencias entre los coloides de cada uno de ellos.

Cuadro N° 10: Clasificación del suelo según la saturación del complejo de cambio.

TASA DE SATURACIÓN	DESCRIPCIÓN
< 40 %	Desaturado
40 – 50 %	Ligeramente saturado
50 – 80 %	Moderadamente saturado
> 80 %	Saturado

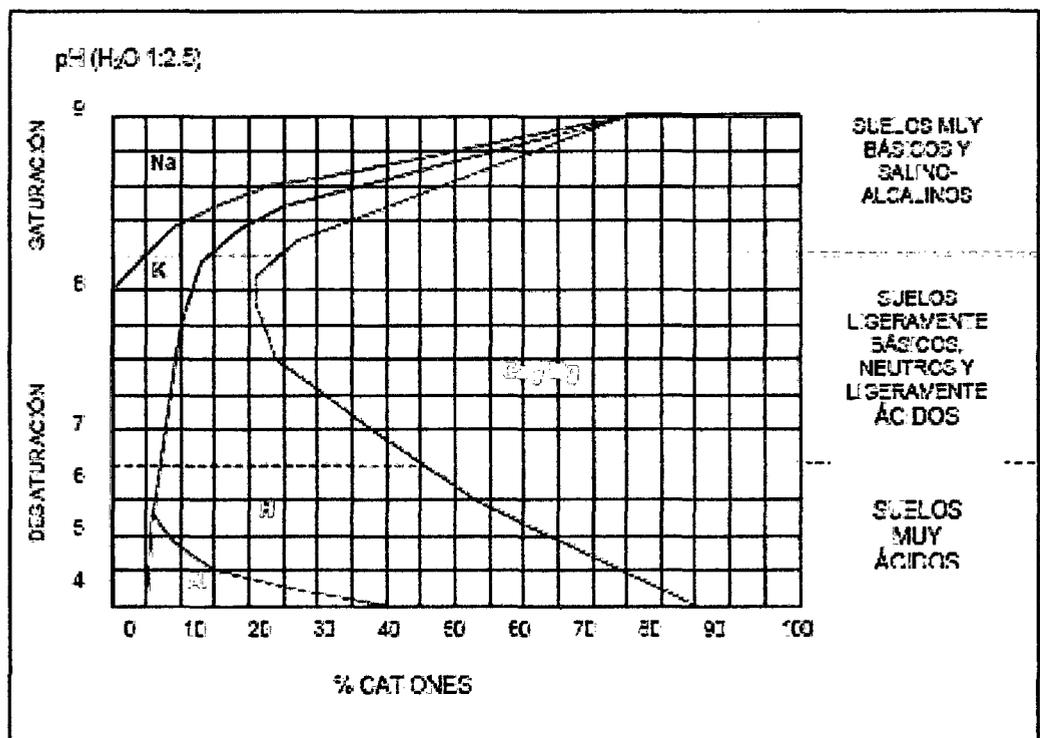


Figura 8. Relación entre la composición catiónica del complejo de cambio y la acidez del suelo.

2.4.4. Cambio aniónico

Los suelos ácidos de zonas tropicales, los suelos desarrollados a partir de materiales volcánicos (ricos en alofanos), o los suelos ricos en cargas variables (pH-dependientes) poseen cierta capacidad de intercambiar aniones con la solución del suelo, lo que se conoce como **Capacidad de Intercambio Aniónico (CIA)**.

La caolinita puede presentar cierta carga positiva en las zonas de rotura de la lámina cristalina, lo que permite la adsorción de aniones presentes en la solución del suelo. La adsorción de aniones como el PO_4^{3-} , el SO_4^{2-} y otros puede afectar a la nutrición de las plantas, para las que no se hallarán inmediatamente disponibles.

2.5. Cultivo de palma aceitera

2.5.1. Requisitos climáticos del cultivo

2.5.1.1. Temperatura.

PRODATU-DEVIDA (2005) "Manual técnico para el cultivo de la palma aceitera", indica que en general se acepta que la temperatura media anual óptima para la palma de aceitera, está comprendida entre 22 y 32°C. Este rango de temperatura coincide por lo general con las tierras de los trópicos húmedos localizadas a altitudes menores de 500 metros sobre el nivel del mar "Nos resulta interesante el comentario sobre las características limitantes de los valores extremos, en un caso cuando se presentan "frijes" , como suele suceder en los meses de Junio a agosto, hay un impacto de retardo en el crecimiento de la planta y en la maduración del fruto; y, cuando las temperaturas exceden los 38°C, con baja humedad relativa, puede darse el cierre de estomas y como consecuencia reducirse la fotosíntesis.

2.5.1.2. Precipitación.

(Seijas, et al., 2010), indican que para el buen crecimiento y abundante fructificación se considera necesario una precipitación entre 1,750 y 2,000 mm anuales, con una distribución mínima de 150 mm por mes. Periodos secos de tres meses o más, con una precipitación menor de 100 mm por mes, podría ser altamente para la producción de racimo de fruto fresco de palma aceitera.

2.5.1.3. Brillo solar

PRODATU-DEVIDA (2005) "Manual técnico para el cultivo de la palma aceitera", indica que las condiciones óptimas de energía radiante para una productividad igualmente óptima, están dadas por un brillo solar que exceda las 2,000 horas al año, equivalentes a cinco horas y media al día. Se da una relación inversa entre el brillo solar y la precipitación sobre todo en lugares donde la mayor parte de ésta se produce de día.

Las condiciones climáticas que permiten un alto potencial de rendimiento de la palma de aceite (según paramanathan, 2003) son: La precipitación anual de 2,000mm a 3,000mm, con una precipitación mensual mayor a 100 mm. el brillo solar de más de 2,000 horas/año (más de 5,5 horas/día), la temperatura media de 22 a 31°C y una humedad relativa de 75% a 85%.

2.5.2. Suelos y sistema radical

Para desarrollarse fácilmente la palma aceitera necesita suelos profundos, sin limitantes por lo menos en los primeros 70 centímetros de profundidad, suelos sueltos con altos contenido de materia orgánica aireados y sin problemas de compactación, lo cual también garantiza el mejor almacenamiento de agua.

El conocimiento de la calidad de los suelos, su adecuado manejo con programas de fertilización oportuno y perfectamente calculado para evitar el estrés nutricional de la planta, son factores determinantes en el éxito de un palmicultor (Seijas, et al., 2010).

Las mejores plantaciones de palma aceitera crecen en suelos en donde no existen impedimentos físicos, químicos o biológicos para un buen desarrollo del sistema radical. Una aeración pobre en el suelo, y una baja fertilidad que cause en la planta una nutrición desbalanceada comprometen seriamente la calidad y cantidad del sistema radical. Varios problemas fitosanitarios de gran importancia en el cultivo se han relacionado con condiciones del suelo que comprometen el desarrollo y mantenimiento de un sistema radical vigoroso (Chinchilla y Duran, 1997).

Una aeración pobre en el suelo puede resultar de la combinación de texturas pesadas y baja porosidad gruesa, de la presencia de texturas contrastantes en el perfil, de la compactación, o de la presencia de un nivel freático poco profundo (menor de un metro de profundidad) o fluctuante.

La presencia de estratos gruesos superficiales restringen también el desarrollo radical, y debido a su poca capacidad de retención de humedad, exponen a la planta a un daño mayor durante periodos prolongados de sequía.

El sistema radical de la palma aceitera es fibroso, y relativamente superficial, con la mayor cantidad de raíces activas dentro de los primeros 30 cm (Gray, 1968). Unas pocas raíces de anclaje salen de la base de la planta, pero la mayor parte del sistema se extiende horizontalmente. A partir de las raíces primarias, se generan los sistemas secundario, terciario y cuaternario. Las raíces de tercer y cuarto orden son las más importantes para la absorción de agua y nutrientes.

Tinker (1976) indica que el sistema radical de la palma aceitera comparado con cultivos anuales y con algunas dicotiledóneas arbustivas, es grueso y relativamente ineficiente; de tal forma que para mantener un suministro de nutrimentos adecuado para la planta, la disponibilidad de estos en el suelo debe de ser más alta que la requerida por otras plantas.

2.5.3. Nutrición

2.5.3.1. Requisitos nutricionales

La demanda de nutrientes de la palma aceitera depende de factores como el clima, el tipo de suelo, el material genético, el manejo agronómico y el nivel de rendimiento entre otros. En general, una población de 143 plantas por hectárea, absorbe del suelos entre 300 y 600 Kg de los principales elementos nutritivos (Hartley 1987; Uexkull y Fairhurst s.f.). Parte de estos elementos son eventualmente reincorporados al suelo a través de las hojas senescentes, las inflorescencias masculinas y la renovación del sistema radical.

No obstante, este reciclaje es solo parcial, dado que existen pérdidas importantes en el sistema.

Otra fracción de los elementos absorbidos se incorpora en los diferentes órganos de la planta durante el crecimiento. En palmas adultas, con una producción de 25 t/ha de racimos de fruta fresca, Ng (1972) reporta estimados de absorción de 192.5, 26, 251.4, 61.3 Y 99.3 Kg/ha de N, P, K, Mg y Ca, respectivamente. Finalmente, una fracción muy importante es sacada del sistema en la cosecha. Ng (1972), indica que una cosecha de 25 t/ha, contiene 73.2, 11.6, 93.4, 20.8 Y 17.5 Kg de N, P, K, Mg Y Ca respectivamente.

Parte de la cantidad extraída en la cosecha puede ser retomada a la plantación en forma de racimos vacíos, lodos y efluentes. Mutert (1998), reporta que 30 t de racimos vacíos de fruta contienen potasio en una cantidad equivalente a 120-180 Kg de KC1.

De forma similar, la cobertura de leguminosas incorpora nitrógeno al sistema y ayuda a mejorar el reciclaje de nutrientes. No obstante, la única forma de mantener o mejorar la productividad es añadiendo fertilizantes, para restituir y enriquecer el suelo con los elementos que se pierden.

Las metodologías para conocer las demandas nutrimentales en la palma aceitera se basan en el análisis foliar (Hamlet, 1999). En general, se

considera que la concentración de los nutrimentos, expresados como porcentaje del peso seco de la hoja, es un indicador adecuado para conocer el estado nutricional de toda la planta (Cuadro 11).

Cuadro N° 11. Rangos críticos de concentración de nutrimentos para palma de aceite (en % de MS foliar). (Adaptado por Fairhurst, 1999b)

Elemento	Calificación		
	Bajo	Medio	Alto
	(mayor o igual a)	(mayor o igual a)	
N (%)	2,33	2,34-2,59	2,60
P (%)	0,15	0,16-0,17	0,18
K (%)	1,07	1,08-1,19	1,20
Ca (%)	0,58	0,59-0,64	0,65
Mg (%)	0,24	0,25-0,27	0,28
S (%)	0,22	0,23-0,25	0,26
B (ppm)	15	16-17	18
Cl (ppm)	0,50	0,51-0,69	0,70
Fe (ppm)	71	72-79	80
Mn (ppm)	134	135-149	150
Zn (ppm)	13,4	13,5-14,9	15,0
Cu (ppm)	4,3	4,4-4,9	5,0

Interpretación de la calificación:

Bajo: ejerce fuerte limitación a la productividad; hay una alta probabilidad de respuesta positiva a su aplicación.

Medio: ejerce una mediana pero significativa limitación a la productividad; hay una probabilidad media de respuesta positiva a su aplicación.

Alto: suficiente para mantener la productividad actual por algún tiempo; si se aleja mucho del límite superior puede generar desbalance con otros nutrientes o representar condición de toxicidad.

2.5.3.2. Contenido de nutrientes en el suelo y en la palma aceitera

Los productores de palma aceitera deben tener un conocimiento básico de la ciencia del suelo y de la nutrición de la palma aceitera, tanto para evaluar nuevas áreas de producción, así como para manejar plantaciones establecidas a máxima rentabilidad. Se debe evaluar las características del suelo (fertilidad, propiedades físicas, drenaje y topografía) de cada sitio a ser sembrado.

La fertilidad del suelo y la nutrición de la palma se monitorean por medio del análisis de suelo y del análisis foliar para determinar si existe deficiencia, suficiencia o exceso de los nutrientes en los lotes de palma en la plantación. Sin embargo, es muy importante que todo el personal técnico, incluyendo el Gerente de la Plantación, caminen el campo para observar las condiciones de las plantas, suelos y en general el ambiente de la plantación.

Cuadro N° 12 Clasificación de niveles críticos en el suelo, aplicable al cultivo de Palma aceitera. Cuadro de referencia para evaluar la fertilidad del suelo para palma aceitera (Goh et al 1997, en Fairhurst y Härdter 2003).

Parámetros		Deficiente	Optimo	Excesivo	Alto
PH			<4,5	4,5-5,5	>5,0
Conductividad eléctrica	dS/m	<2,0	2,0-4,0		>4,0
Materia orgánica	%	<2,0	2,0-4,0		>4,0
C,I,C,	meq/100g	<10	10-20		>20
P (Bray II)	ppm	<15	15-20		>20
K	Meq/100g	<0,2	0,2-0,4		>0,4
Mg	Meq/100g	<0,2	0,2-0,3		>0,3
S	ppm	<10	10-15		>15
B	ppm	<0,25	0,25-0,50		>0,50
Fe	ppm	<15	15-30		>30
Cu	ppm	<0,5	0,5-1,5		>1,5
Mn	ppm	<5	5-10		>10
Zn	ppm	<1,0	1,0-2,0		>2,0
Saturación de Al	%	<25	25-50		>50
Saturación de K	%	<3	3-6		>6
Saturación de Ca	%	<20	20-40		>40
Saturación de Mg	%	<10	10-20		>20
Saturación de Na	%	<10	10-15		>15

2.5.3.3. Balance Nutricional, para la sostenibilidad de la palma aceitera.

Para ser productivo es de extrema importancia tener una alta producción y mantenerla en el tiempo, por ello cada cultivador debería interesarse en hacer el mayor esfuerzo en llevar su producción al más alto nivel y mantenerla; mantener un alto nivel de producción, va de la mano con el adecuado suministro de nutrientes a la palma.

Para conseguir y mantener altos niveles de productividad es necesario aplicar cantidades adecuadas de fertilizantes.

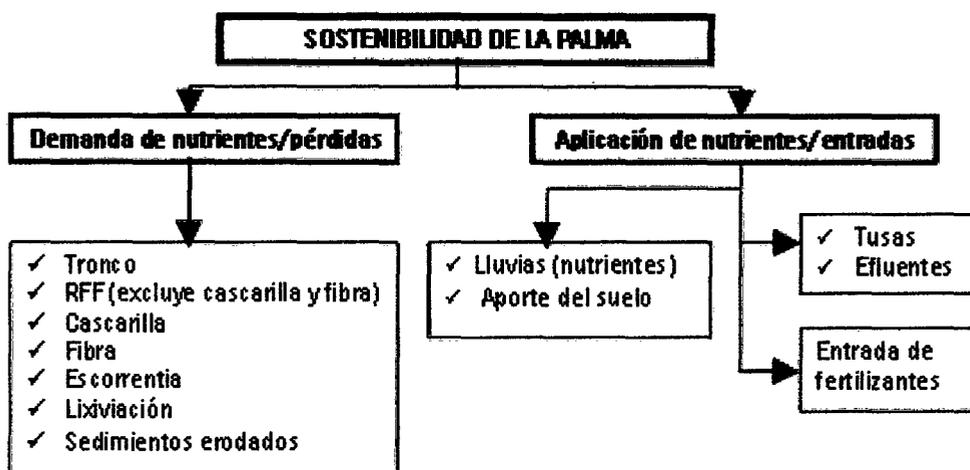
Para determinar las cantidades de fertilizantes requeridas, es necesario conocer los requerimientos de nutrientes de la palma y el suministro de nutrientes, esto es el "balance nutricional".

A continuación se presenta unos supuestos con los cuales se elabora un ejemplo de balance nutricional:

- Palmas maduras en la fase de estabilización de su producción, o sea 15 años.
- Los nutrientes almacenados en los estipes de la palma, son similares en los niveles de producción considerados.
- Todas las hojas podadas son recicladas y el 100% de los nutrientes retornan a la palma después de la mineralización.
- La densidad de siembra es de 143 palmas por hectárea.
- Los cuescos, fibras y almendra son removidos del ecosistema de la palma y no son reciclados.
- La precipitación y lixiviación está basada en 2000 mm de lluvia anual y la pérdida de nutrientes por sedimentos erodados (basada en nutrientes aplicados), se presume son similares para los dos niveles de producción.
- Los nutrientes aportados por la lluvia, se asume son distribuidos uniformemente durante el año.
- Las palmas son cultivadas en suelos del interior (terrenos ondulados y en terrazas), generalmente de baja fertilidad, típico de suelos tropicales, y
- La eficiencia de los fertilizantes no se tiene en cuenta.

El concepto de balance nutricional se ilustra en la figura 9. Para cualquier nivel de producción, la demanda/pérdidas de nutrientes debe coincidir con el suministro/entradas de nutrientes para garantizar la sostenibilidad del sistema. Cualquier caída en el suministro necesitará ser compensada con un incremento en las entradas de fertilizantes inorgánicos para mantener la sostenibilidad en el nivel de producción deseado.

FIGURA 9 DIAGRAMA DE UN BALANCE DE NUTRIENTES EN PALMAS EN PRODUCCIÓN



Para los dos niveles de producción (20 y 30 RFF /ha/año), las tusas y efluentes son totalmente reciclados en el campo. Los efluentes reciclados son la forma digestada. El 100% de los nutrientes presentes en tusa y efluente es retornado al sistema.

2.5.3.3.1. Balance del nitrógeno

Para producir 20 ton RFF por hectárea anualmente y asumiendo que el 100% de las hojas podadas son retornadas, la palma requiere aproximadamente 129.5 kg./ha/año, de los cuales cerca de la mitad es removida por la cosecha. El tronco es otro vertedero importante de N, pues allí se inmoviliza un 32% del N total cada año. Las pérdidas por escorrentía son relativamente bajas, un 12% del requerimiento total. En el proceso de esas 20 ton RFF, se produce 1.54 ton de tusas por hectárea y 13.6 toneladas de efluentes por hectárea, de los cuales 11.5 y 4.4 kg. de N respectivamente pueden reciclarse en el agro ecosistema de la palma (totalizando 16 kg. N/ha).

Una gran cantidad de N ($66-16 = 50$ kg./ha/año) que compone los RFF es pérdida, durante el procesamiento de racimos y tratamiento de efluentes. Otra porción importante del N es inmovilizada en los bioproductos, o sea, fibra y cuesco, los cuales normalmente no regresan al campo.

Asumiendo que hay un reciclado total de tusas y efluentes, hay un déficit entre la oferta y demanda cercano a 97 Kg. de N por hectárea por año

(75% de demanda). Si se asume un suministro insignificante de N del suelo, la cantidad necesaria de fertilizante N para llegar a esa producción es 0.7 kg. de N por palma/año o 2.8 kg. de cloruro de amonio. En el caso de no reciclar tusas y efluentes la cantidad de fertilizante correspondiente es de 0.8 kg. de N o 3.26 kg. de cloruro de amonio por palma/año.

Para producir 30 ton de RFF por hectárea y por año, la demanda de N es más alta debido al nivel de producción de racimos. La cantidad de N por aplicar, asumiendo un reciclaje de tusas y efluentes, es de 0.9 Kg. de N o 3.53 kg./palma/año de cloruro de amonio. Sin reciclar las tusas y efluentes, se necesitará 1.1 kg. de N o 4.22 kg./palma/año de cloruro de amonio para sostener la producción de 30 toneladas de RFF /ha/año.

2.5.3.3.2. Balance de potasio

Una palma madura con una producción de 20 ton de RFF/ha/año, necesita 236 kg. de K por hectárea por año, de los cuales cerca de la mitad es inmovilizada en el tronco, otro 37% es removida con la cosecha de racimos. Las tusas y los efluentes tienen un potencial de retorno de 42 y 21 kg. de K/ha/año respectivamente; este contenido total de 63 kg. de K/ha/año representa el 73% del K removido por la cosecha de RFF.

Como en el caso del N se experimenta una gran parte del déficit de 142 kg. de K por hectárea por año (60% de la demanda), aún con el reciclaje de toda la tusa y efluente producido. Este debe ser suministrado ya sea por las reservas naturales del suelo o por fertilizantes inorgánicos. Asumiendo un aporte insignificante del suelo, la entrada de fertilizante necesario para lograr un nivel de productividad de 20 ton/ha/año, es de aproximadamente 1.0 kg. de K por palma y por año o 2.1 kg. de MOP por palma y por año, siempre en cuando las tusas y los efluentes sean reciclados completamente. De igual forma se necesita cerca de 1.5 Kg. de K por palma y por año ó 3.0 kg. de MOP/palma, en el evento de no reciclar las tusas ni los efluentes en el cultivo. El mayor déficit de nutrientes se da con el K a un nivel de producción de 30 ton/ha/año y por lo tanto necesitará una entrada de fertilizante de 1.1 kg. de K por palma y por año o 2.2 kg.

MOP/palma/año; se necesitan de las tusas y efluentes; si no se reciclan, para producir y sostener un nivel de producción de 30 ton RFF/ha/año, se necesitará una entrada de 1.8 kg. de MOP/palma/año ó 3.6 kg. MOP/palma/año.

2.5.3.3.3. Balance de fosforo y magnesio

La palma necesitará de 16.4 kg. de Potasio/ha/año y 38.0 Kg. de Magnesio/ha/año para producir 20 ton RFF/ha/año, comparado con 21.6 kg./ha/año de P y 49.1 kg./ha/año de Mg, si la producción es de 30 toneladas de RFF/ha/año. El P y el Mg principalmente son inmovilizados en los racimos y el estipe. En términos generales, hay grandes déficits de P y Mg. Esto debe remediarse con la entrada de fertilizantes o del suelo si está en capacidad de hacerlo, producto de un manejo sostenible.

2.5.4. Utilización de los resultados de los análisis de suelo y tejido

Los resultados de los análisis foliares y de suelos son herramientas útiles para estimar las necesidades de fertilizantes, tomando como referencia los niveles críticos preestablecidos, sin embargo, las mejores recomendaciones de fertilización son aquellas basadas en los resultados de experimentos locales en donde se conjugan los factores suelo, planta y clima. En la práctica, debe utilizarse la experiencia y el sentido común para interpretar un análisis particular de tejido foliar o de suelos.

Varios problemas limitan la utilidad de los resultados de los análisis foliares. En primer lugar, los contenidos de los elementos en el tejido, fluctúan dentro de cada año y entre años (Duran et al. 1997), y la planta responde a los niveles que se presentan durante todo un periodo. Desde este punto de vista, los niveles críticos no pueden establecerse con certeza para muchos de los elementos. Además, los niveles también varían con la edad de la planta, y el material genético. Debido a estos factores, los resultados deben interpretarse con cautela, no solo por comparación con los niveles críticos, sino también considerando las relaciones entre elementos y los muchos factores que pueden estar influyendo en los resultados, incluyendo los

métodos de extracción utilizados en los laboratorios. Una determinada productividad puede corresponder con un ámbito bastante amplio en la concentración de un determinado elemento en el tejido foliar o el suelo. Según esto, sería imprudente determinar las cantidades de fertilizante para el cultivo, basándose en los resultados de los análisis foliares únicamente. No obstante, se puede obtener una mejor interpretación de las relaciones entre los análisis foliares, I de suelo y rendimiento, cuando se tienen datos acumulados de estas variables, durante cuatro años mas (Duran y Chinchilla, 1997), de manera que las fluctuaciones asociadas a factores climáticos se tomen en cuenta para interpretar los resultados.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación y duración del estudio.

La primera zona de estudio está ubicado en la Carretera Neshuya-Curimana (CNC) a la altura del Km 60 de la Carretera Federico Basadre desde el Centro Poblado Monte de los Olivos, hasta el centro poblado de El Maronal en el km. 25.800; políticamente, pertenece a los Distritos de Curimaná (Provincia de Padre Abad) e Irazola (Provincia de Padre Abad), Departamento de Ucayali.

La segunda zona de estudio está ubicado en el Distrito de Campo Verde, correspondientes al Caserío La Merced de Neshuya, (C.F.B Km. 50 Interior 8km), Caserío San Pedro (C.FB Km 46.200) y Palmeras del Ucayali (C.FB Km 46.500 interior 3 Km), todas ubicadas, en la carretera Campo Verde – Neshuya.

Geográficamente se enmarcan entre los paralelos de 8°24' a 8°36' de latitud sur y los meridianos de 74°57' a 75°09' de longitud oeste. La altitud sobre el nivel del mar es de aproximadamente 300 metros.

Cubren una extensión aproximada de 15 000 ha, donde existen alrededor de 650 parcelas de colonos con una extensión media aproximada de 40 ha.

Las plantaciones escogidas para la evaluación fueron establecidas hace 10 años con una densidad de siembra de 143 plantas/ha, por lo que se han definido los siguientes sitios de evaluación:

Cuadro N° 13: Sitio de Evaluación N° 1-Sector Monte de los Olivos

Nombre del agricultor (a)	María Alicia Retis de Arévalo
Ubicación geográfica del fundo	Distrito de Irazola, Provincia de Padre Abad Carretera Neshuya-Curimana Km 6
Nombre del fundo	Cielito Lindo
Nombre del caserío	Monte de los Olivos
Sector al que pertenece	Neshuya
Hectáreas instalados	05 has de palma aceitera (edad 10 años)

Cuadro N° 14: Sitio de Evaluación N° 2-Sector Villa Mercedes

Nombre del agricultor (a)	Aurelio Núñez, Sosa
Ubicación geográfica del fundo	Distrito de Irazola, Provincia de Padre Abad Carretera Neshuya-Curimaná Km 15.00
Nombre del fundo	Jeny
Nombre del caserío	Villa Mercedes
Sector al que pertenece	Neshuya
Hectáreas instalados	05 has de palma aceitera (edad 10 años)

Cuadro N° 15: Sitio de Evaluación N° 3-Sector Maronal

Nombre del agricultor (a)	Juan Gerardo Gastelu Gonzales
Ubicación geográfica del fundo	Distrito de Curimana, Provincia de Padre Abad Carretera Neshuya Curimana Km 25.800
Nombre del fundo	Ganimedes
Nombre del caserío	Maronal
Sector al que pertenece	Curimana
Hectáreas instalados	05 has de palma aceitera. (edad 10 años)

Cuadro N° 16: Sitio de Evaluación N° 4- San Pedro

Nombre del agricultor (a)	Carlos Díaz Ingunza
Ubicación geográfica del fundo	Distrito de Campo Verde Provincia de Coronel Portillo C.FB Km 46.200
Nombre del fundo	Estancia Domita
Nombre del caserío	San Pedro
Sector al que pertenece	Campo Verde
Hectáreas instalados	11 has de palma aceitera 10 años de edad

Cuadro N° 17: Sitio de Evaluación N° 5 Palmeras del Ucayali

Nombre del agricultor (a)	Prospero Villar Chávez
Ubicación geográfica del fundo	Distrito de Campo Verde Provincia de Coronel Portillo C.FB Km 46.500 interior 3 Km
Nombre del fundo	S/N
Nombre del caserío	Las Palmeras del Ucayali
Sector al que pertenece	Campo Verde
Hectáreas instalados	12 has de palma aceitera de 10 años de edad

Cuadro N° 18: Sitio de Evaluación N° 6 La Merced de Neshuya

Nombre del agricultor (a)	Aron Molina Guerra
Ubicación geográfica del fundo	Distrito de Campo Verde Provincia de Coronel Portillo C.F.B Km. 50 Interior 8 Km
Nombre del fundo	La molina
Nombre del caserío	La Merced de Neshuya
Sector al que pertenece	Campo Verde
Hectáreas instalados	07 has de palma aceitera de 10 años de edad.

Fuente: PANDURO, 2012. "Caracterización de suelos, en plantaciones de palma aceitera, con fines de prescripción técnica, en la Provincia de Coronel Portillo y Padre Abad, región Ucayali"

Figura 10: Mapa de Ubicación y Localización de las Parcelas en Evaluación de la primera zona en estudio carretera Neshuya – Cuirmana.

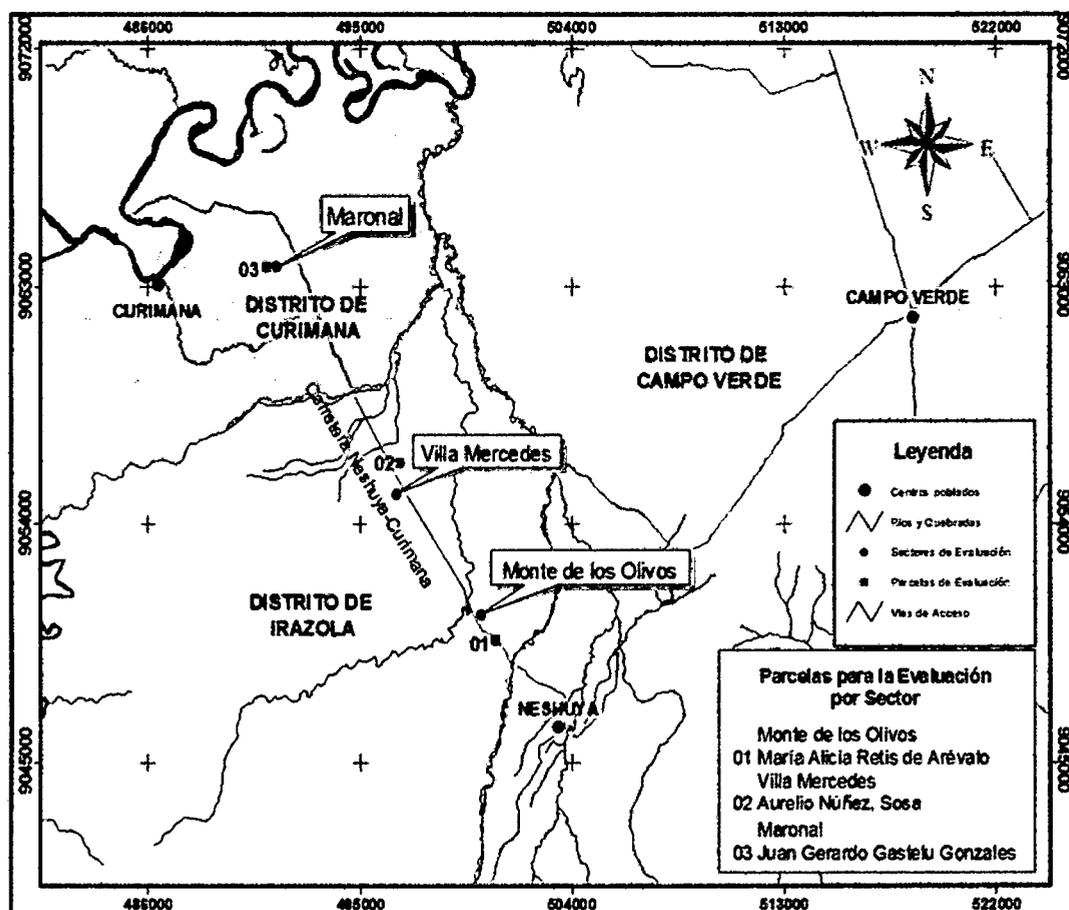
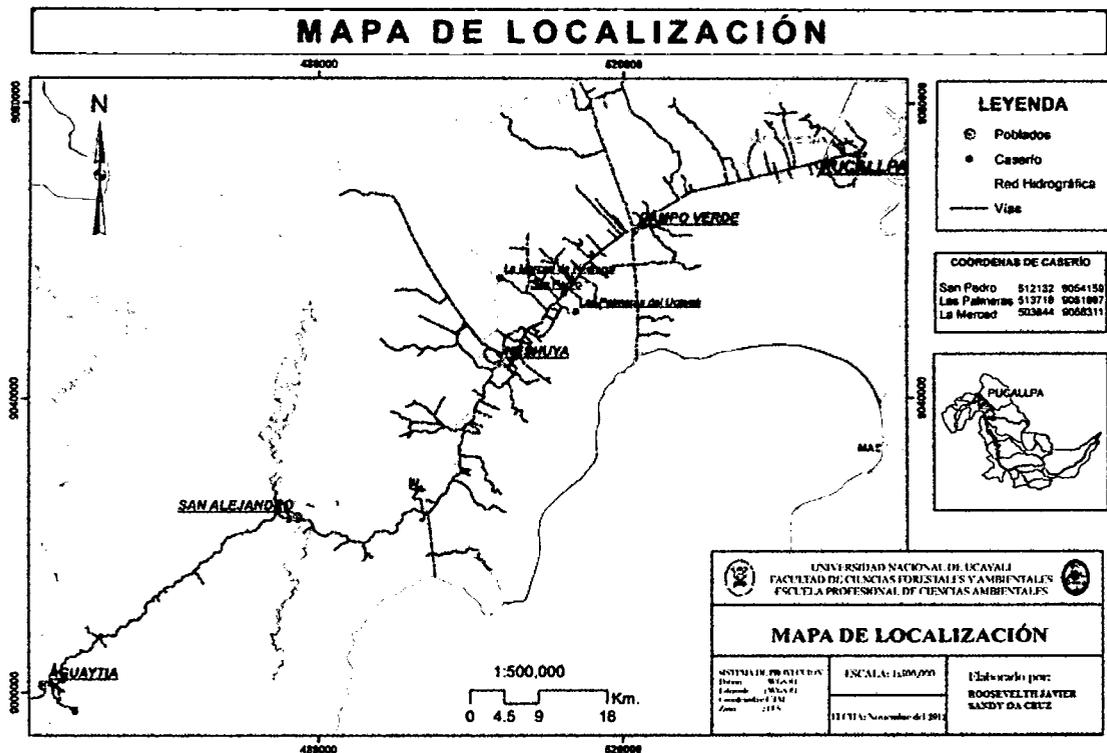


Figura 11: Mapa de Ubicación y Localización de las Parcelas en Evaluación de la segunda zona en estudio Campo Verde.



3.2. Condiciones climáticas en la fase del estudio.

El Clima de acuerdo a la información proveniente de la Estación Meteorológica Principal de San Jorge (Km. 54 C.F.B), se reporta para la zona una temperatura máxima anual promedio de 30.6°C y una mínima de 19.6°C, con una media anual de 25°C. La precipitación pluvial promedio total anual es de 1752 mm. La humedad relativa es de 77%, el número de horas de sol es de 112.8 y los vientos tienen una velocidad promedio de 3.5 nudos y con dirección dominante de norte sur.

Según el Mapa Ecológico del Perú (ONERN, 1976), el sector Campo verde, Neshuya-Curimaná se ubica en la zona de vida de bosque húmedo Pre montano Tropical, transicional a bosque húmedo Tropical (bh-PT/bh-T).

La topografía es casi plana y abierta con presencia de algunas ondulaciones y alterna con áreas pantanosas llamados aguajales; geológicamente está constituido por capas arcillosas de tipo areniscas, lino lodositos de color rojo con ausencia de rocas, y la napa freática se encuentra entre los 1.00 – 18.00 metros, dependiendo de su cercanía a aguajales, ríos o quebrada.

De acuerdo al Mapa de Clasificación climática del Perú elaborado por el SENAMHI, el territorio pertenece a la región natural selva Baja u Omagua de clima cálido húmedo lluvioso con una zona de vida de bosque muy húmedo tropical que propicia el crecimiento de abundante vegetación arbórea y arbustiva.

3.3. Componentes en Estudio.

- ⊗ Las características físico-química de los suelos con plantaciones de palma aceitera (Calidad de Sitio).
- ⊗ El estado nutricional de las plantaciones de palma aceitera.
- ⊗ Las relaciones entre las características físico-químico de los suelos del área de influencia del estudio.

3.4. Metodología

3.4.1. Método de investigación.

Por tratarse de un estudio en la cual no era posible efectuar cambios ni manipulaciones a las variables independientes; el diseño de la investigación, fue **No experimental**; con lo cual se evaluó el contenido nutricional del suelo, de las hojas, frutos del cultivo de palma aceitera de 10 años de edad, con el fin de relacionar la productividad del cultivo de palma aceitera con los componentes anteriormente mencionados.

3.4.2. Población y muestra.

a) Población.

Lo constituyeron 4290 plantas de palma aceitera comprendidas entre las dos zonas de estudio y en seis parcelas de 5 Ha, cada una con 143 plantas/Ha.

b) Muestra.

Lo constituyeron 120 plantas de palma aceitera a razón de 20 por parcelas o **Unidades de Muestreo** distribuidos en los dos sectores en estudio.

1. U.M₁: Asociación de Palmicultores los Olivos, CNC. Km. 7.
2. U.M₂: Asociación de Palmicultores la Villa, CNC. Km 16.
3. U.M₃: Asociación de Palmicultores el Maronal CNC. Km. 29
4. U.M₄: C.F.B. Km 47 San Pedro
5. U.M₅: Asociación de Palmicultores las Palmeras, CFB Km 46
6. U.M₆: Asociación de Palmicultores la Merced de Neshuya CFB Km 50 interior 8 Km.

3.5. Instrumentos de recolección de datos.

a) Materiales de campo.

- | | |
|---|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Libreta de apunte | <input checked="" type="checkbox"/> Rafia |
| <input checked="" type="checkbox"/> Capota | <input checked="" type="checkbox"/> Bolsas plásticas de 3 kilos |
| <input checked="" type="checkbox"/> Mochila | <input checked="" type="checkbox"/> Palas recta |
| <input checked="" type="checkbox"/> Botas | <input checked="" type="checkbox"/> Barreno |
| <input checked="" type="checkbox"/> Lápiz | <input checked="" type="checkbox"/> Machete |
| <input checked="" type="checkbox"/> Tablero | <input checked="" type="checkbox"/> Azadón |
| <input checked="" type="checkbox"/> Costales | <input checked="" type="checkbox"/> Tijera de podar |
| <input checked="" type="checkbox"/> Mantas | <input checked="" type="checkbox"/> Cuchillo |
| <input checked="" type="checkbox"/> Baldes | <input checked="" type="checkbox"/> Balanzas. |
| <input checked="" type="checkbox"/> carta de colores
<i>Munsell.</i> | |

b) Materiales de gabinete.

- libreta de campo.
- Lapiceros.
- Lápices.
- papel bon A4.
- papel bulki.
- memorias USB.
- fólder.
- corrector.
- resaltador.

a) Equipos.

- Computador.
- Motocicletas
lineales
- Cámara digital.
- GPS.

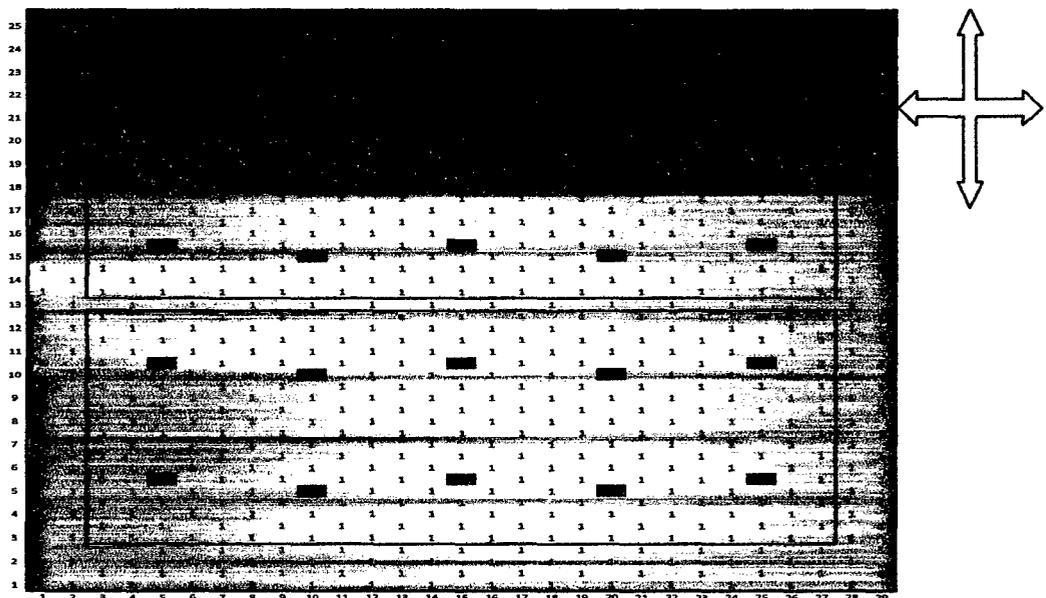
3.6. Procedimiento para recopilación de información.

La metodología utilizada en la presente investigación, fue la establecida por la Guía para facilitadores, publicada por la Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite – CENIPALMA – Colombia 2010; como “Diseño y evaluación del programa de manejo nutricional en palma de aceite”.(Arias Arias, Nolver Atanacio y Beltrán Giraldo, Jorge Alonso). Y también por la metodología establecida en el Curso internacional sobre “Manejo Integrado de la Nutrición en Palma de Aceite” por **Pedro Nel Franco Bautista 2010**.

3.6.1. Ubicación de las Parcelas de investigación y distribución de las Unidades de sub muestreo.

Para la ubicación y determinación de las parcelas se tomó en cuenta tres aspectos importantes como: la **Homogeneidad en suelo**; **Igual material y año de siembra** y la **Proximidad geográfica** de las plantaciones de palma aceitera; se identificó 6 parcelas o unidades muestrales cada una de 5Ha, al azar dentro de las áreas de estudio. Luego en cada parcela o unidad de muestreo; aplicando el método de muestreo sistemático (fila: planta) de 5 x 5; se estableció las unidades de sub muestras; haciendo un total de 20 Unidades de sub muestras; las mismas que se observan en el siguiente diagrama:

Figura N° 12: Esquema de distribución de sub muestras dentro de la Unidad de Muestreo o parcela de 5 has. (715 plantas).



Esquema: Distribución de las unidades de sub muestreo, dentro de una Unidad de muestreo.

3.6.2. Análisis colorimétrico y textural del suelo en campo.

Una vez conocidas las parcelas de investigación o unidades de muestreo; se realizó una minicalicata de 30x30x30cm en cada punto de submuestreo de todas las parcelas, se retiraron porciones de tierra para realizar el análisis colorimétrico y textural, con la finalidad de identificar si existiera variabilidad o alguna diferencia de estos valores dentro de la parcela; dado que estos caracteres del suelo nos proporciona información clave sobre otras propiedades del medio edáfico que influyen directa o indirectamente con la producción del cultivo de palma aceitera.

Entonces dado a su importancia en esta primera parte de la caracterización se desarrolló con el siguiente procedimiento:

a. Análisis de color del suelo

La medición del color del suelo se realizó con un sistema estandarizado basado en la "Tabla de Colores Munsell" (Fig.). En esta tabla se midió tres componentes del color:

- ☒ Tono (hue) (En suelos es generalmente rojizo o amarillento)
- ☒ Intensidad o brillantez (chroma)
- ☒ Valor de luminosidad (value)

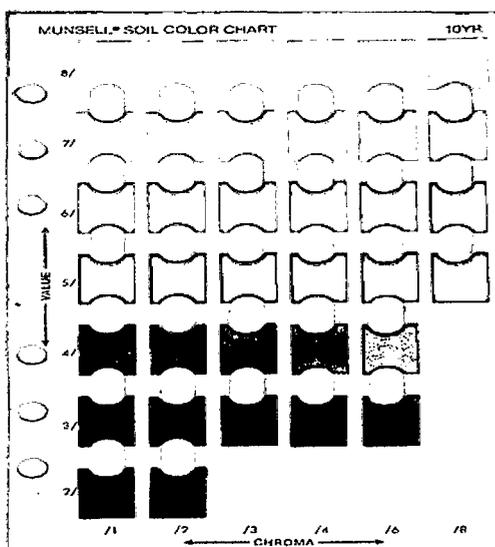


Figura N° 13: Hoja de colores 10YR de la Tabla de Colores Munsell. Este tono (hue) es uno de los más utilizados en suelos.

b. Determinación de la textura en campo

Para este carácter del suelo se utilizó el método de campo según Peralta, M. 1995. Para esta prueba se tomó una porción del suelo y se hizo una pelota de suelo humedeciéndola hasta llegar al "punto pegajoso. Cuando el suelo estuvo en su punto, se presionó entre el dedo pulgar y el índice y se formaron una plasta lo más larga posible (Fig. 14).



Fig. N° 14: Foto mostrando cómo elaborar las plastas de suelo

Se determinó también si el suelo estaba dentro de la categoría textural arcillosa, franco-arcillosa, o franca. Esto lo logramos observando si al humedecer el suelo pudimos formar con los dedos plastas largas, medianas, o cortas, respectivamente.

Suelos de textura arcillosa (arcillo-arenosa, arcillosa, y limo-arcillosa) forman plastas largas (8-10 cm); de textura franco-arcillosa (franco-arcillo-arenosa, franco-arcillosa, franco-arcillo-limosa) hacen plastas medianas (3-8 cm); de textura franca (franco-arenosa, franca, y franco-limosa) forman plastas muy cortas (menos de 3 cm) o no forman plastas, y suelos de textura arenosa no forman plastas.

Una vez determinado si nuestro suelo fue arcilloso, franco-arcilloso, o franco, reexaminamos la muestra. Y si al frotarlo se sintió definitivamente arenoso (áspero), se lo llamó franco-arenoso, dependiendo del tipo de plasta que se formó. Si al frotarlo se siente excepcionalmente suave, se lo llamó franco-limoso.

A suelos de grano grande que se mostraron muy sueltos cuando estaban secos, y que formaron terrones muy frágiles cuando estaban húmedos se

los llamó arenosos. A los que fueron un poco más cohesivos cuando estaban secos, y que cuando estaban húmedos formaron terrones que se podía levantar del suelo con la mano sin que se fracturaran (pero que se fracturaran al dejarlos caer sobre la palma de la mano desde una altura de 15-20 cm) se los llamó areno-francos. Si los terrones no se fracturan al dejarlos caer desde una altura de 15-20 cm llámelos franco-arenosos.

Después de realizarse las evaluaciones de color y textura inicial de las sub muestras de todas las parcelas, se unió los puntos sub muestrales que eran similares o que presentaban las mismas características unas con otras; de esta manera se pudo determinar el lugar donde se harían las calicatas ideales (1m x 1m x 1 m); para posteriormente conocer la homogeneidad o heterogeneidad del suelo de cada zona en estudio.

3.6.3. Ejecución y Descripción de las Calicatas.

Una vez identificado los lugares con características disimiles, tomando en cuenta solo la textura y el color del suelo en el presente estudio, se procedió a la realización de una calicata ideal (1m x 1m x 1 m) para una descripción más detallada de las características que presenta los suelos de la zona. Los horizontes presentes en cada calicata fueron separados a profundidades de 0-15, 15-30, 30-50, 50-100 cm. Para ello se procedió a limpiar el perfil del suelo y con un punzón, una cinta o soguilla se determinó el límite de cada horizonte. Luego de cada horizonte se tomaron las muestras respectivas para los análisis correspondientes al estudio de caracterización, realizados en la Universidad Nacional de Ucayali.

3.6.4. Evaluación de las características físicas del suelo de cada calicata.

3.6.4.1. Textura del Suelo

Para la textura se utilizó el Método del hidrómetro (Bouyoucos Modificado) que permite expresar como porcentaje (%) de peso seco total los diferentes tamaños de partículas que constituyen la fracción de tierra fina del suelo. Se basa en la velocidad de decantación en un medio acuoso de las partículas de arena, limo y arcilla sobre la base de la ley de Stokes.

3.6.4.2. Estructura del suelo

Para esta variable fue necesario poner en las manos una muestra del suelo no alterado. Se observó cuidadosamente el suelo que tenemos en la mano examinando su estructura. La estructura del suelo es la forma que toma el suelo en base a sus propiedades físicas y químicas. Cada unidad individual de estructura natural del suelo se denomina un *terrón*.

A veces el suelo puede carecer de estructura, lo que significa que dentro de un horizonte de la profundidad de muestreo, los grumos de suelo no tienen una forma específica. En ese caso, la estructura del suelo puede definirse como suelto o compacto. El suelo suelto es similar a la arena en la playa o en el patio de juegos, donde las partículas independientes de arena no se adhieren entre sí. Compacto es cuando el suelo se junta en grandes masas que no se desagregan en ningún patrón definido. Estas condiciones se encuentran más a menudo en los suelos del orden inceptisols en el horizonte B o C, donde la materia matriz está menos alterada. Como el material matriz todavía no se ha visto sometido a la intemperie, usualmente no ha desarrollado ninguna estructura.

3.6.4.3. Densidad Aparente

Las muestras de suelo para determinar la densidad aparente (DA) se realizaron en un laboratorio de suelos. Se utilizó el método del cilindro de volumen conocido, las muestras fueron secadas a una temperatura de 105°C, hasta alcanzar peso constante.

Cálculo para determinar la densidad aparente del suelo

$$DA = \frac{\text{Peso del suelo seco}}{\text{volumen del cilindro}}$$

El volumen del cilindro fue calculado por medio de la siguiente fórmula:

$$V = \pi r^2 h$$

Donde: r equivale al radio (en cm) y h a la altura (en cm)

3.6.4.4. Humedad gravimétrica del suelo

Para evaluar la humedad del suelo se siguió el procedimiento del protocolo de Humedad Gravimétrica de los Suelos, establecido por la Dra. Elissa Levine y el Dr. Jim Washburne en "*Investigación de Suelos GLOBE™ 1997*".

En este procedimiento las muestras se tomaron a las profundidades establecidas anteriormente. Esta metodología proporciona una visión profunda de cómo el agua se moviliza a través de la columna de tierra y proporciona datos que se relacionan de mejor manera con la absorción de agua por parte de las plantas.

Se recogieron las muestras de humedad de los suelos, se colocaron en los respectivos recipientes con etiquetas apropiadas y se pesaron.

Luego las muestras se secaron en un horno a 105 °C por 24 horas, hasta que toda el agua se haya secado, y luego se volvieron a pesar. La diferencia de pesos antes y después del secado corresponde a la cantidad de agua que portaba la muestra de la tierra. Los científicos denominan a ésta la técnica gravimétrica, que quiere decir medición por peso. La relación del peso del agua con el peso de la tierra se denomina contenido de agua del suelo.

3.6.4.5. Temperatura del suelo

En la evaluación de la temperatura del suelo se realizó utilizando el protocolo de temperatura de los Suelos, establecido por la Dra. Elissa Levine y el Dr. Jim Washburne en "*Investigación de Suelos GLOBE™ 1997*".

Las mediciones de temperatura del suelo se tomaron a profundidades de 0-15, 15-30, 30-50, 50-100 cm con la ayuda de un termómetro digital, para proporcionar datos directamente relacionados con la medición del contenido de agua cercana a la superficie de los suelos en el sitio. La temperatura de los suelos se midió semanalmente a lo largo del tiempo de estudio. Además, cada tres meses, durante dos días consecutivos, se tomaron mediciones en intervalos de dos horas aproximadamente, para revelar cuán cerca a la superficie del suelo la temperatura varía según la hora del día en el Sitio de Estudio.

3.6.4.6. Infiltración y permeabilidad del suelo

La infiltración, la proporción de agua que fluye hacia la tierra, es una importante propiedad hidrológica de los suelos. Los científicos precisan conocer esta información para predecir y crear modelos en función de la cantidad de precipitación que se escurre o queda almacenada en el suelo. La tasa de infiltración varía entre menos de 20 mm/hora para arcillas y suelos compactados a 60 mm/min. Para arena suelta y seca.

La infiltración se midió tres veces durante la duración del estudio en el Sitio de Estudio de la Humedad de los Suelos para Caracterización de los Suelos.

Para ello se empleó un simple artefacto denominado infiltrómetro de doble anillo, que está hecho de dos latas concéntricas de diferentes diámetros. Debido que la infiltración varía con el contenido de humedad de los suelos, lo cual también cambia con el transcurso del tiempo, se realizó de una a cuatro mediciones de infiltración durante un período de 45 minutos a una hora debido al contenido de arcillas y al grado de compactación del suelo.

Estas observaciones se tomaron en los mismos días que también se colectaron muestras de humedad de los suelos. Dado que la tasa de infiltración puede cambiar según órdenes de magnitud, debido a molestias ocasionadas por animales o plantas, se tomaron mediciones de infiltración en un día dado en cada una de la UMAs identificadas.

3.6.4.7. Profundidad efectiva

Esta determinación se pudo hacer observando el perfil descubierto de al menos un metro de profundidad del suelo. Recordando que por estas razones la descripción y clasificación de suelos de la FAO se lleva a cabo teniendo en cuenta tan solo el metro superficial (si el material parental o la roca madre no afloran antes). Por el contrario, la USDAS oil Taxonomy tiene en cuenta los horizontes de suelos existentes hasta 2 metros de profundidad.

3.6.5. Evaluación de las características químicas de los suelos

Los métodos químicos que sigue el laboratorio de suelos son los recomendados por el Q.F. Olinda E. Ayre V. y el Q.F. Rafael Román R. en Métodos Analíticos para Suelos y Tejido vegetal usados en el trópico húmedo:

3.6.5.1. Determinación del pH: Para la determinación del pH se utilizó el método potenciométrico (Willard et al., 1974; Bates, 1983), relación suelo-agua 1:1

3.6.5.2. Determinación de las Bases de cambio Ca, Mg, K (cmol(+)/Kg- 1), se realizó por el método del acetato de amonio normal y neutro; Ca, Mg, K por absorción atómica.

3.6.5.3. Determinación de la Acidez intercambiable (H +Al) y aluminio intercambiable: mediante el método 2.5:25 KCl 1N Titulación NaOH 0.01 N de Yuang.

3.6.5.4. Determinación de Fósforo (ppm): se realizó mediante el método Olsen Modificado: Colorimétrica Molibdato de Amonio.

3.6.5.5. Determinación de la Materia Orgánica

Para determinar el contenido de Mo, primero se analizó el contenido de Carbono en el suelo, y luego ese valor se multiplica por un Factor de conversión de la materia orgánica (factor de Duchaufour).

$$\text{M.O. (\%)} = \text{C (\%)} \cdot 1.72$$

Por lo tanto las muestras fueron secadas a una temperatura ambiente durante tres días, posteriormente se molió, homogenizó y tamizó para finalmente ser analizadas en un laboratorio de suelos determinar el contenido de carbono (%) por el método de Walkley Black.

Cálculo del Carbono en el Suelo

$$CS = \%CS \times DA \times P$$

Donde:

CS= Carbono en el suelo (tC/ha)

%CS= Contenido de carbono en el suelo (%)

DA= Densidad Aparente

P= Profundidad de muestreo (cm)

3.6.6. Determinación de las Unidades de manejo Agronomico (UMA).

Para determinar y establecer las UMAs, los datos de suelos obtenidos en la descripción de las calicatas, fueron sometidos al análisis de conglomerados, para agrupar elementos (o variables) y lograr así la máxima homogeneidad en cada grupo y la mayor diferencia entre los grupos, (cluster).

3.6.7. Evaluación del estado nutricional de la planta de palma aceitera

Una vez que fueron determinadas las unidades de manejo agronómico, fue el momento de tomar las muestras foliares sobre las palmas ya identificadas en cada uno de los grupos de suelos. Las palmas se marcaron con cintas de colores para que de tal forma nos sean fácilmente localizadas en el campo.

Para la obtención de submuestras y muestras foliares en el campo, se siguió el siguiente procedimiento:

- 1) Se Seleccionó la hoja N° 17.
- 2) Se tomaron de la parte central de la hoja seleccionada, cuatro folíolos, dos de cada lado del raquis, se tuvo que ver que los folíolos tuvieran que estar completamente sanos. Sin daños provocados por insectos, enfermedades o causas mecánicas.
- 3) Se repitió el procedimiento anterior en cada una de las palmas de la unidad de muestreo foliar, UMF.
- 4) Se reunieron todos los folíolos recolectados y formar una muestra con las submuestras.

- 5) Se colocó la respectiva etiqueta a la muestra conformada, con la cual se identificó hasta el final del proceso de preparación, secado y remisión de la muestra al laboratorio.
- 6) Se repitió el mismo procedimiento para cada una de las muestras requeridas.

Luego todas las muestras fueron llevados al laboratorio para el análisis nutricional correspondiente.

3.7. Tratamiento estadístico de los datos de análisis

Para el estudio de los distintos parámetros analizados se ha utilizado las técnicas de análisis multivariante, con el fin de resumir la información obtenida y facilitar la labor interpretativa de los datos.

El tratamiento estadístico se aplicó a los resultados obtenidos de los distintos parámetros analizados y se utilizaron los siguientes programas informáticos: SPSS 11.5 y 13.0 para Windows y Excel 2010.

3.7.1. Análisis de conglomerados

Se realizó esta técnica estadística multivariante con la finalidad de dividir el conjunto de calicatas, de forma que se los agrupen en un mismo grupo que sean muy similares entre sí, de esta manera formar las Unidades de Manejo Agronomico.

3.7.2. Análisis de regresión.

Se realizó un análisis de regresión múltiple donde se exploraron las relaciones funcionales entre las características físico-químicas del suelo y el estado nutricional de las plantaciones de palma aceitera; de igual manera se exploraron las relaciones funcionales entre cada una de las características de los suelos asociadas a la fertilidad de los mismos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

De acuerdo a los objetivos del presente trabajo de investigación y siguiendo la metodología del estudio se obtuvieron los siguientes resultados respecto al comportamiento de las características físicas y químicas de los suelos y el estado nutricional del cultivo de palma aceitera en la Zona Palmera de Campo Verde, Neshuya-Curimana; sus factores limitantes y su fertilidad, asociada a los cambios climatológicos que experimentó el área las cuales determinan las relaciones entre las características físico-químicas de los suelos del área de influencia del estudio.

4.1. Calidad de Sitio

La calidad del suelo abarca los componentes físicos, químicos y biológicos del suelo y sus interacciones. Por esto, para captar la naturaleza holística de la calidad, o salud, del suelo, fueron medidos todos los parámetros posibles. Sin embargo, no todos los parámetros tuvieron la misma relevancia para todos los suelos, o situaciones.

4.1.1. Determinación de las Unidades de manejo agronómico.

Cuadro N° 19: Determinación de las UMAs

UMAs	Calicatas	Color	cod. Munsell	Value/Chrome	Textura	Parcelas
1	1:C1	Marron oscuro	10YR	4/3	F. arenoso	MO
	2:C2	marron grisaseo oscuro	10YR	4/2	F. arenoso	
	5:C5	marron grisaseo oscuro	10YR	4/3	F. arenoso	EM
	6:C6	marron oscuro	10YR	4/3	F. arenoso	
2	3:C3	rojo amarillento	5YR	4/6	F. Ar. A	VM
	4:C4	marron rojizo	5YR	4/4	F. Ar. A	
3	7:C7	Marrón amarillento oscuro	10YR	3/4	F. Limoso	SP
	8:C8	Marrón amarillento	10YR	5/4	F. Limoso	
	9:C9	Marrón oscuro	10YR	3/3	F. Limoso	PU
	10:C10	Marrón amarillento	10YR	5/4	F. Limoso	
	11:C11	Marrón amarillento oscuro	10YR	3/4	F. Limoso	MN
	12:C12	Marrón amarillento	10YR	5/4	F. Limoso	

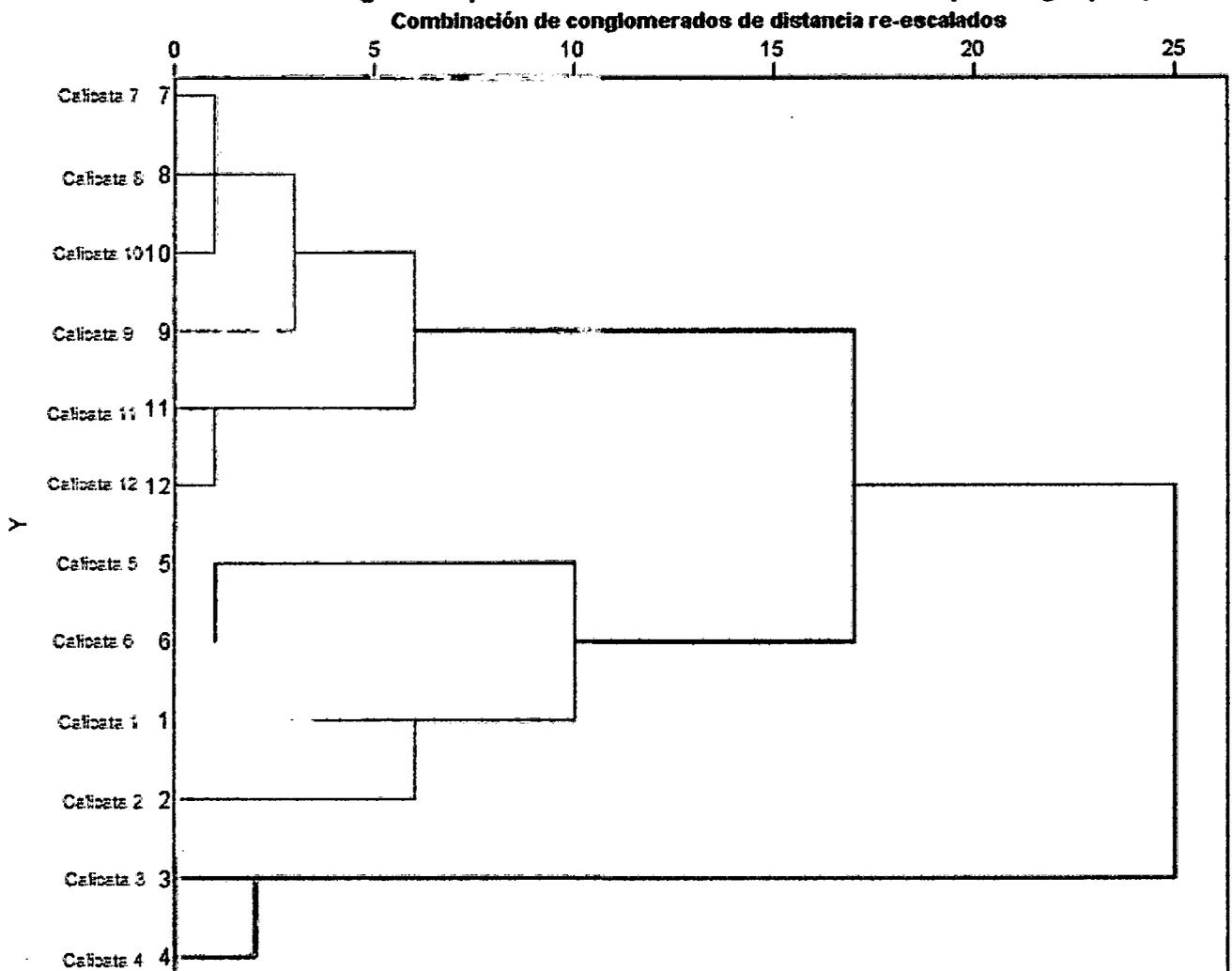
En el cuadro N° 19, se muestra que se ejecutó dos calicatas por parcela de investigación; teniendo en cuenta solo dos variables físicas del suelo como el color y la textura. En este contexto se consideró que el color pudiese inferir en otras características del suelo (cuadro N° 02); mientras que se encontró una *distribución textural más homogéneas dentro de las parcelas.*

Dada la similitud de los perfiles estudiados se consideraron sólo tres grandes grupos de suelos o Unidades de Manejo Agronómico, como se muestra en el cuadro N° 19.

En el dendograma siguiente queda reflejada la formación de las Unidades de Manejo Agronómico:

Figura N° 15: Dendograma de distribución de las parcelas

Dendrograma que utiliza una vinculación media (entre grupos)



4.1.2. Descripción de las características de cada UMA.

4.1.2.1. Unidad de Manejo Agronómico N° 01

Este grupo está conformado por las parcelas de investigación de Monte de los olivos y el Maronal del sector de Neshuya-Curimana. Presenta Suelos poco profundos, planos a ligeramente ondulados, franco arenosos, friables a muy firmes, de fertilidad natural media a alta; de reacción ligeramente ácida a casi neutros; presentan tenores de aluminio probablemente poco tóxicos para el cultivo. La retención de humedad es baja en las capas superficiales y de media a alta en las inferiores. El índice permeabilidad externo es rápido y el interno moderado a lento. Estos suelos planos generalmente soportan inundaciones periódicas ligeras.

Figura N° 16: calicata representativa del suelo del grupo uno



Características: suelo no muy profundo, presenta horizonte A delgado y bajo contenido de materia orgánica, con evidencia de evolución (pH o reacción ácida). De textura franca arenosa en superficie, mostrando un enriquecimiento de arcilla con la profundidad (se hacen arcillosos), que puede dificultar el movimiento del agua. Presenta moteados (manchas blancas a grises) a más de 30 cm, que indica la presencia estacional de una mesa de agua.

4.1.2.2. Unidad de Manejo Agronómico N° 02

Este grupo está conformado únicamente por la parcela de investigación de Villa Mercedes del sector de Neshuya-Curimana. Presenta Suelos profundos a moderadamente profundos, planos a ligeramente ondulados, franco arcillosos, muy firmes, de fertilidad natural baja a media; de reacción medianamente ácida a fuertemente ácidos; presentan tenores de aluminio probablemente tóxicos para el cultivo. Estos suelos planos generalmente soportan inundaciones periódicas ligeras.

Figura N° 17: calicata representativa del suelo del grupo dos

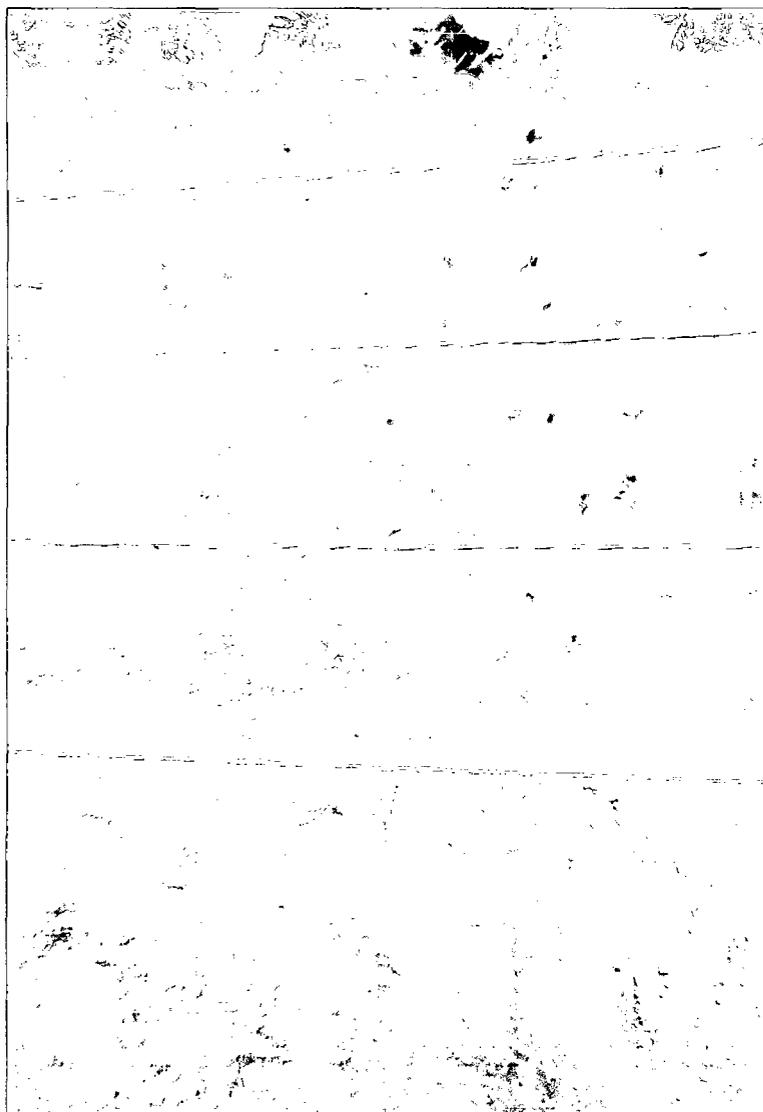


Suelo profundo, presenta horizonte A grueso y buen contenido de materia orgánica, con evidencia de evolución (pH o reacción ácida). De textura franco arcillosos en superficie, mostrando un enriquecimiento de arcilla con la profundidad (se hacen franco arcillosos), que puede dificultar el movimiento del agua. Presenta moteados (manchas grises) a más de 30 cm, que indica la presencia estacional de una mesa de agua. La retención de humedad es media a alta. El drenaje externo es moderado y el interno moderado a lento.

4.1.2.3. Unidad de Manejo Agronómico N° 03

Este grupo está conformado por las parcelas de investigación de San Pedro, Palmera de Ucayali y La Merced de Neshuya del sector de Campo Verde. Presenta Suelos poco profundos, planos a ligeramente ondulados franco limosos con poca estructuración, friables a muy firmes, de fertilidad natural baja sin propiedades coloidales bien definidas; de reacción ligeramente ácida a casi neutros; presentan tenores de aluminio tóxicos para la palma a horizontes subsuperficiales. La retención de humedad es media en las capas superficiales y de media a alta en las inferiores. El índice permeabilidad externo es moderado y el interno moderado a lento. Estos suelos planos generalmente soportan inundaciones periódicas ligeras.

Figura N° 18: calicata representativa del suelo del grupo tres



Suelo profundo, presenta horizonte A fino y bajo contenido de materia orgánica, con evidencia de evolución (pH o reacción ácida). Presentan a una cobertura bastante densa de helechos en superficie. De textura gruesa franco limosa en sus estratos superiores, mostrando un enriquecimiento de arcilla con la profundidad (se hacen franco arcillosos), que puede dificultar el movimiento del agua. También presenta moteados blanquecinos, grises y rojo amarillento que son síntomas de malas condiciones de aireación y proceso de lixiviación.

Cabe mencionar que los tres grupos de suelos estudiados tienen un contenido de arcillas caoliníticas que acrecientan al profundizar y la retención de agua también aumenta (Sanchez 2010).

A manera de resumen se puede indicar que los suelos descritos en la zona productora de palma aceitera de los distritos de Campo Verde, Neshuya – Curimana, presentan pendientes desde planas a ligeramente inclinadas (0 – 3%). Los suelos muestran colores marrones, amarillentos y rojizos; lo que indican un mediano a alto grado de evolución; sin embargo, el horizonte A, de espesor variable (5 a 30 cm), presenta colores oscuros, como evidencia de bajos a buenos contenidos de materia orgánica. La presencia del horizonte argílico es indicativo que ha ocurrido lavado de las bases (Ca, Mg y K) en el suelo, por lo cual se puede inferir que los suelos tienen reacción ácida y una media a baja fertilidad. La retención de humedad es de media a alta, el drenaje externo es rápido a moderado y el interno moderado a lento. También existe un 35% de productividad relativa de las raíces; esto puede deberse a muchos factores como por ejemplo a la compactación del suelo, con una alta capa freática.

Localmente, se observó pseudoplinthita y moteados desde los 30 cm de profundidad, evidenciando períodos intermitentes de oxidación y reducción, que evidencian mal drenaje.

Goh et al 1997, en Fairhurst y Härdter 2003 (cuadro N° 02), establece niveles críticos en el suelo, aplicable al cultivo de Palma aceitera para medir la fertilidad del suelo para palma; y según las características intrínsecas evaluadas (anexo N° xx), podemos decir que los grupos 1 y 2 son suelos con características aprovechables para este cultivo, mientras que el grupo 3 presenta características desfavorables para el desarrollo de este cultivo.

4.1.3. Análisis estadístico

4.1.3.1. Análisis de variables del grupo de suelo N° 1

a) Relación del cambio de profundidad del suelo con otras variables

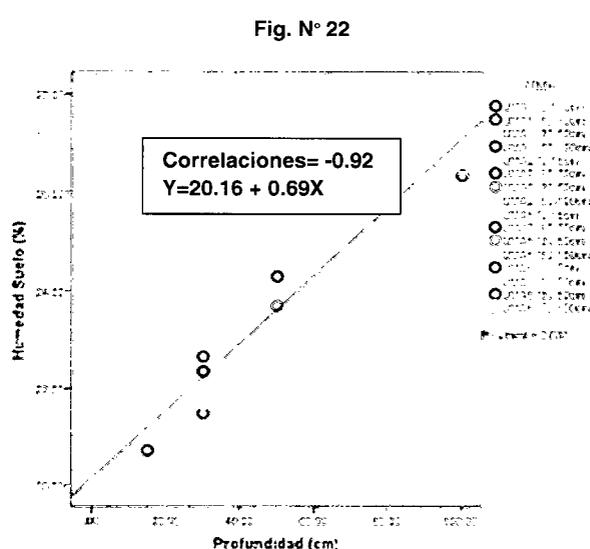
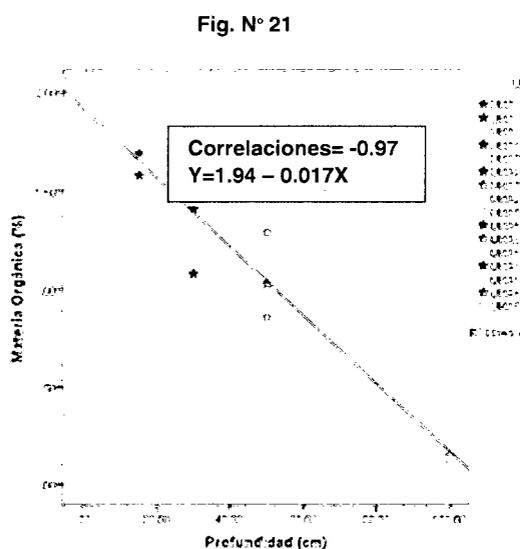
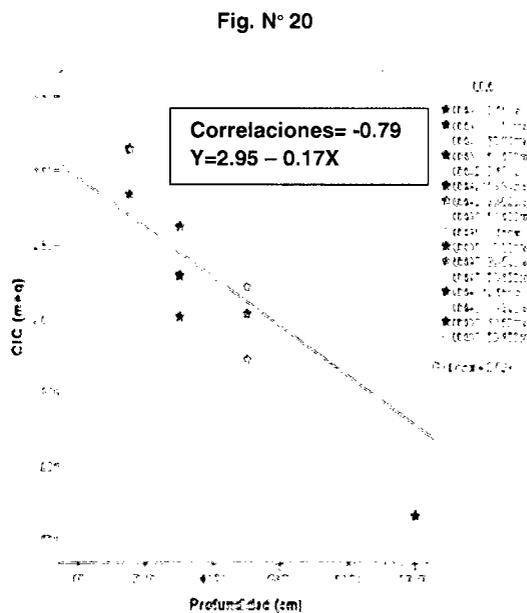
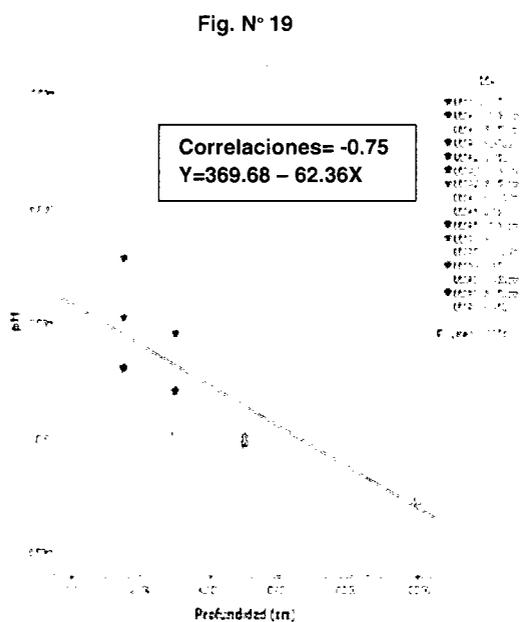


Fig. 19, 20, 21 y 22 Relaciones de la profundidad del suelo con otras variables del suelo

La profundidad del suelo también responde en su variación a la topografía. En suelos planos y hondonadas como los de este grupo, se presentaron, en general, suelos delgados a profundos; y se encontró una relación inversa y significativa de esta variable con el pH ($r=-0.74$), con la CIC ($r=-0.79$) y con la materia orgánica ($r=-0.96$); y una relación positiva con la humedad del suelo ($r=0.91$).

b) Relación del pH con otras variables del suelo

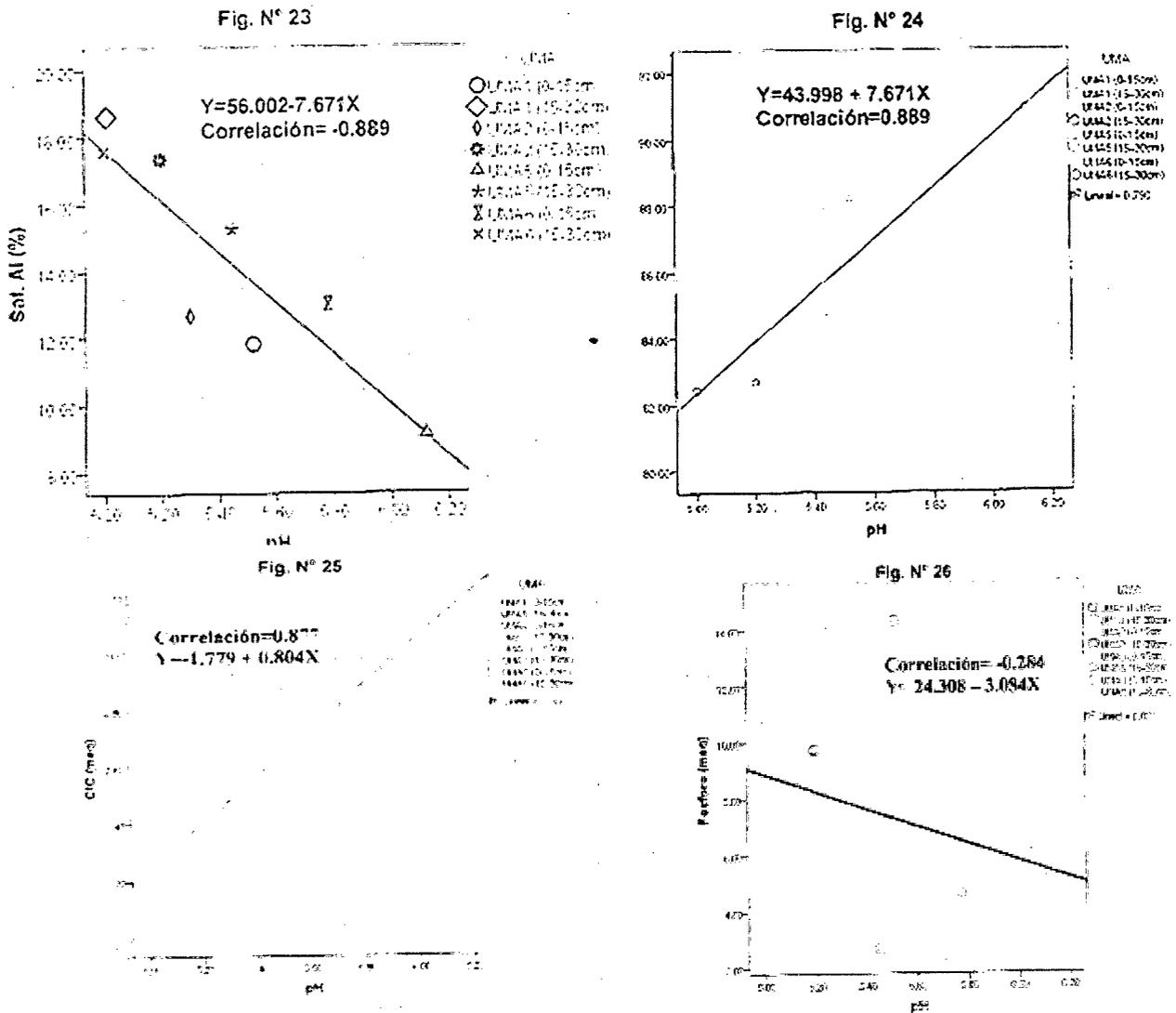


Fig. 23, 24, 25 y 26 Relaciones del pH con otras variables del suelo

En este grupo de suelos se encontraron valores de pH óptimos (5 a 5.5) para palma y en cierto casos un exceso (>5.5), según lo indica Goht et al en 1997. En este grupo se presenta una relación inversa entre el pH con la saturación de aluminio Al³⁺ (r= -889), donde notamos que la concentración de Al³⁺ se reduce conforme aumenta los niveles de pH. Havlin et al. (1999) y Zapata (2004) reportan un comportamiento similar, estos autores aseguran que para valores de pH superiores a 5 – 5.5 se corrigen los problemas de la acidez ocasionados por el AL+3. Se muestra también una elevada correlación significativa de esta variable con la CIC (r= 0.877), y una escasa a moderada correlación negativa con el fósforo (r= -o.284).

c) Materia Orgánica

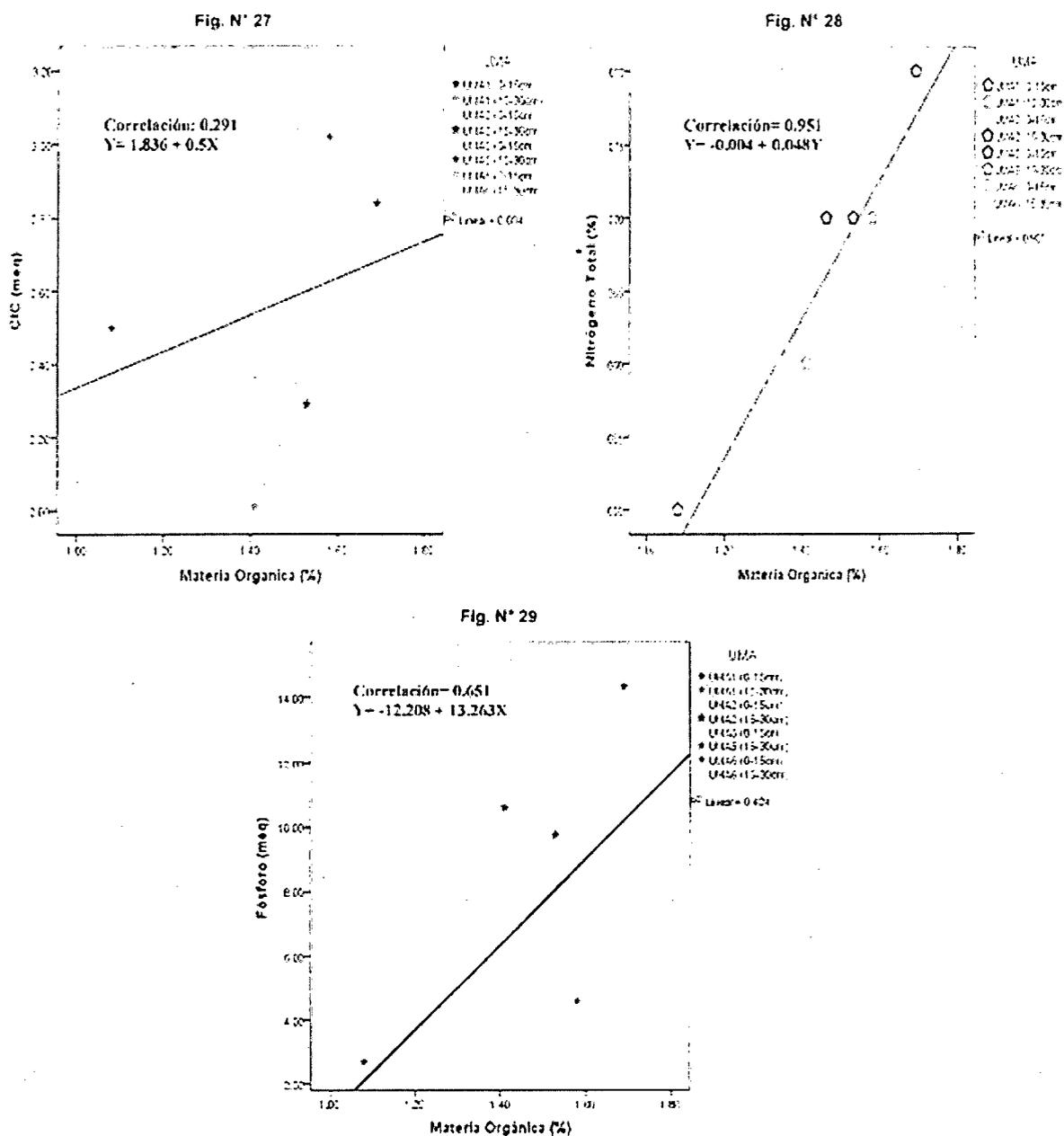


Fig. 27, 28 y 29 Relaciones de la materia orgánica con otras variables del suelo

La materia orgánica presenta una elevada correlación positiva significativa con el NT ($r = 0.951$), una correlación positiva significativa con el fósforo ($r = 0.651$), y escasa o moderada con la CIC ($r = 0.291$).

d) Relaciones catiónicas

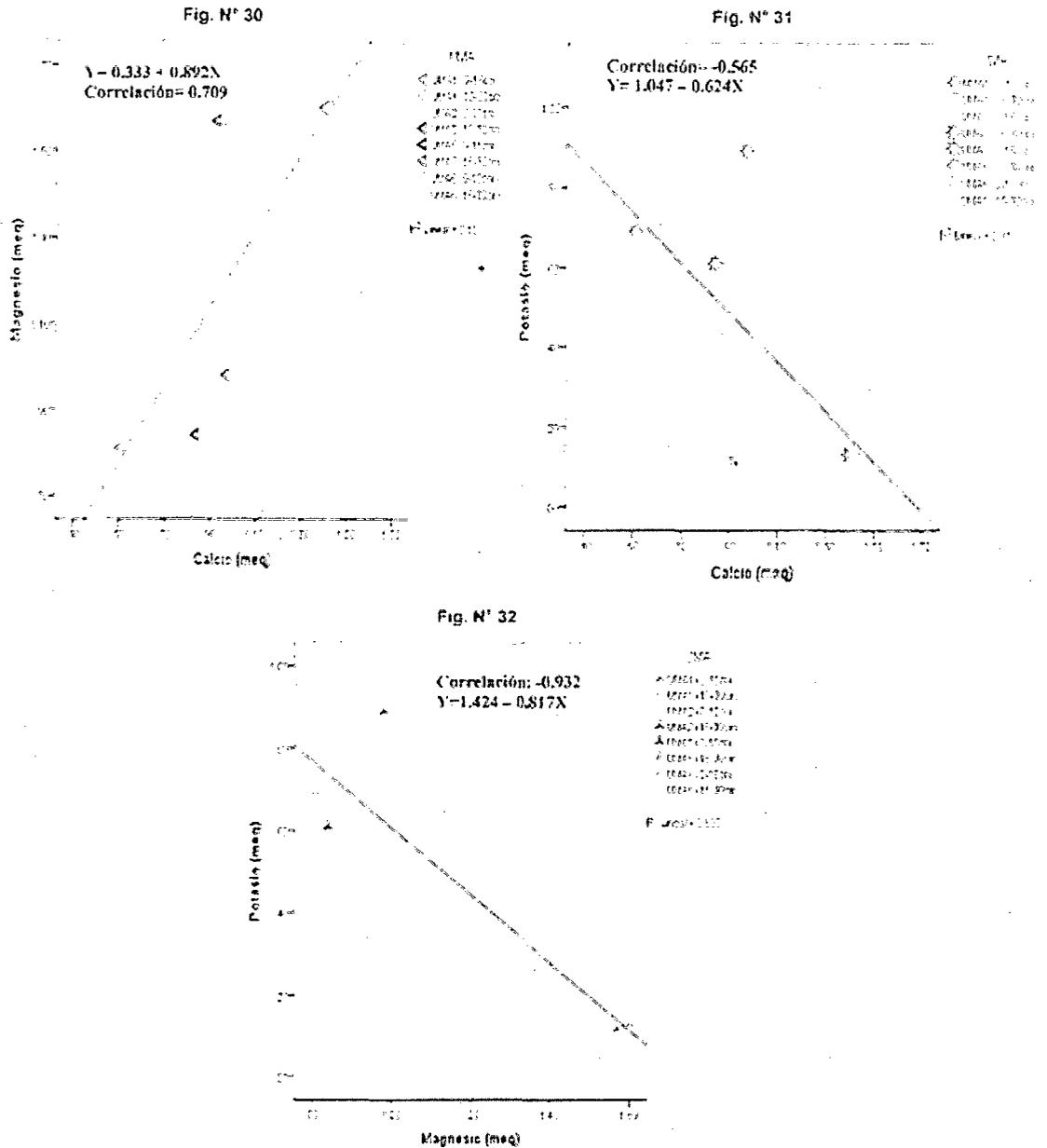


Fig. 30, 31 y 32 Relaciones Catiónicas del grupo de suelo N° 01

La disponibilidad de calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K) para las plantas, no solo depende de su contenido en complejo de cambio y en la solución, sino también de la competencia que se puede presentar entre estos elementos; comportamiento que varía de acuerdo a la selectividad catiónicas de los suelos.

En este grupo de suelo se muestra una buena relación inversa y significativa de esta variable con el pH ($r=-0.808$), la CIC ($r=-0.791$) y la materia orgánica ($r=-0.936$), y una buena relación positiva con la humedad del suelo ($r=0.808$).

b) Relación del pH con otras variables del suelo.

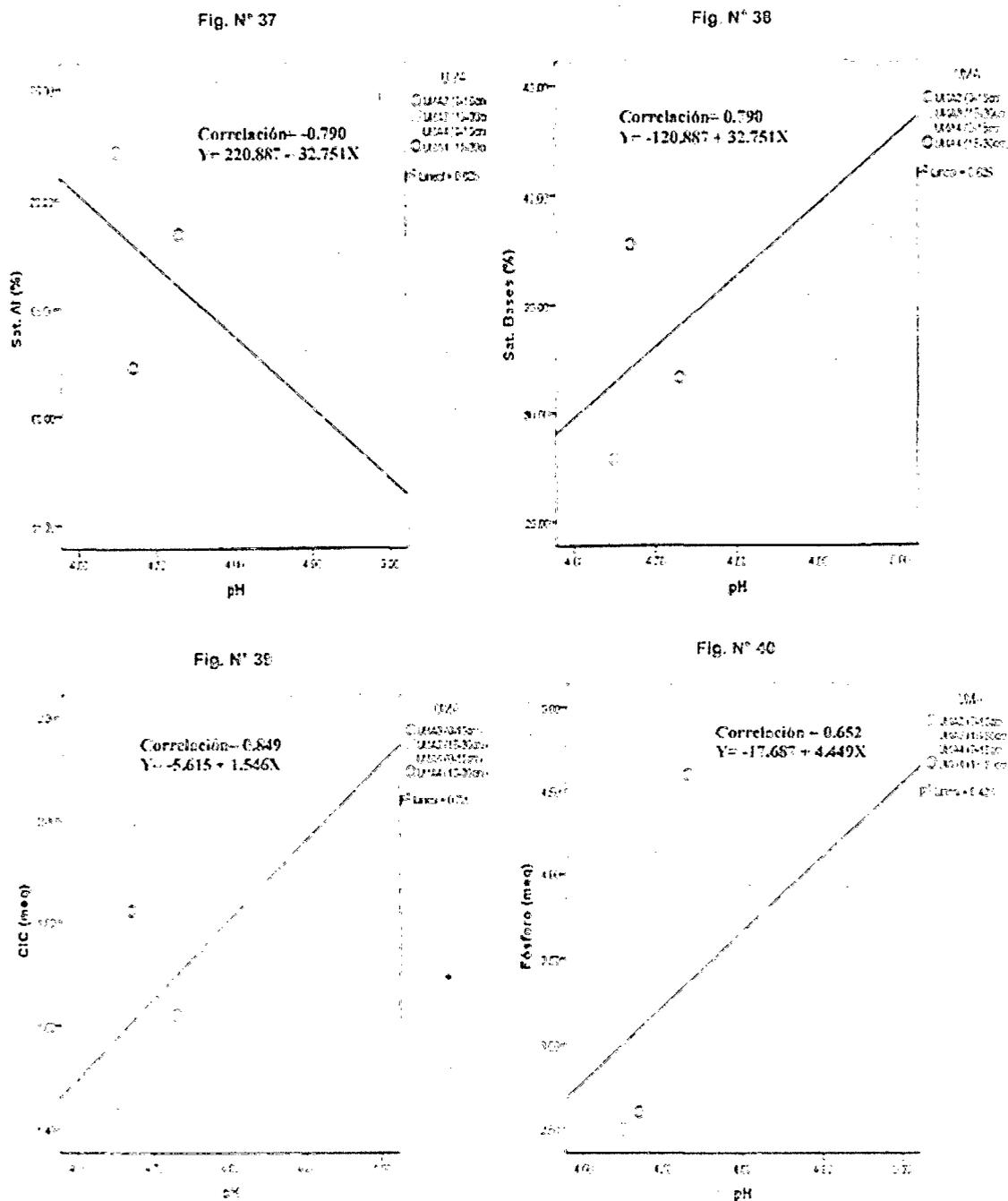


Fig. 37, 38, 39 y 40 Relaciones del pH con otras variables del suelo

En este grupo de suelos se encontraron valores de pH bajos (<4.5) a óptimos (5 a 5.5) para palma. Presenta una relación significativa e inversa entre esta variable y el % de saturación de Al^{3+} ($r = -0.790$), donde se muestra los valores más altos de aluminio intercambiable en los sitios de Villa Mercedes. Se ha señalado en la literatura que en suelos ácidos con pH menores de 5, el aluminio intercambiable aumenta considerablemente, lo que a su vez implica una saturación del complejo de cambio con este elemento (DE Rojas y Comerma, 1985). Esto concuerda con los datos encontrados en este estudio, donde los suelos de Villa Mercedes presentaron valores de pH menores de 5, y los valores de Al^{3+} más altos en comparación al resto de los suelos estudiados.

También el pH presenta una elevada correlación positiva significativa con el porcentaje de saturación de bases ($r = 0.790$), la CIC ($r = 0.849$), y una buena correlación con el fósforo ($r = 0.652$).

c) Materia Orgánica

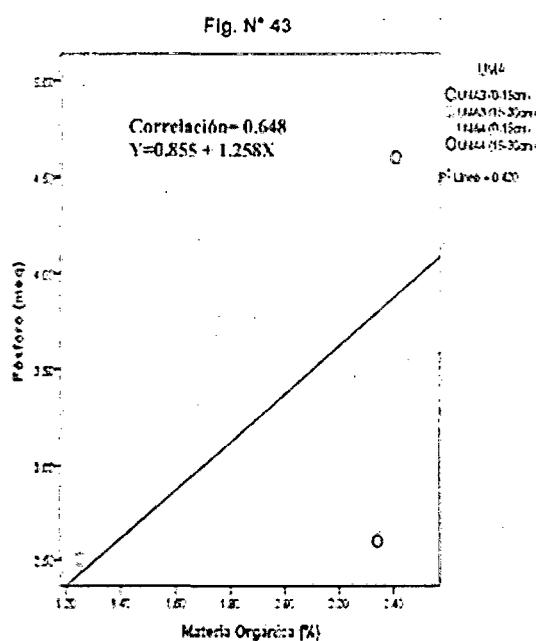
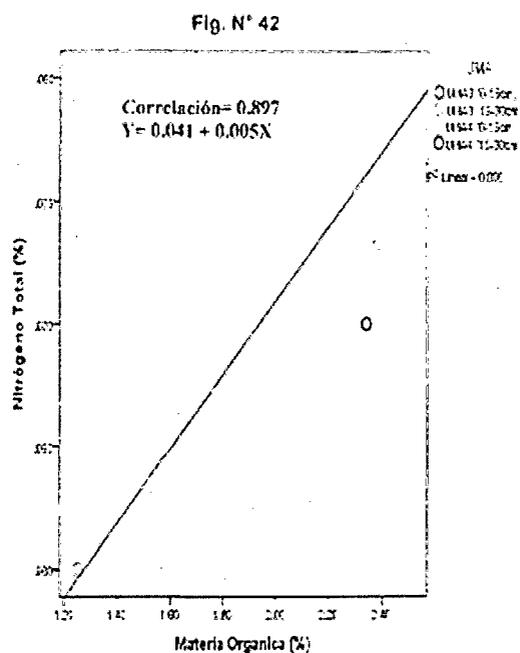
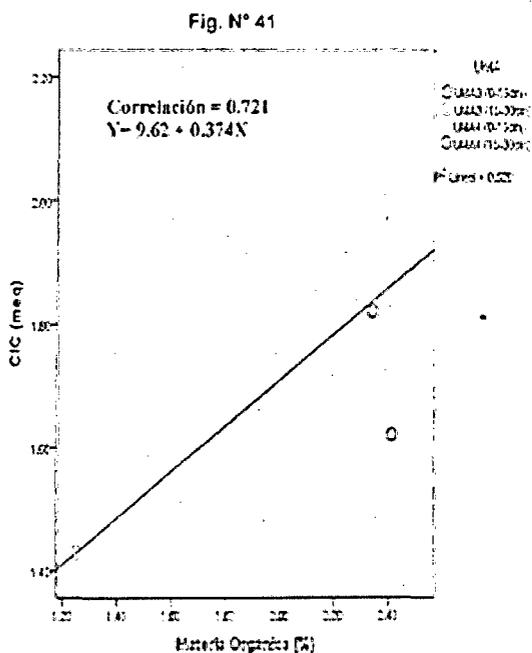


Fig. 41, 42 y 43 Relaciones de la materia orgánica con otras variables del suelo

En este grupo debido a la presencia de un horizonte profundo y a un buen contenido de materia orgánica, se muestra una elevada correlación significativa de esta variable con el NT ($r = 0.897$), una correlación significativa con el fosforo ($r = 0.648$) y con la CIC ($r = 0.721$).

d) Relaciones catiónicas

Fig. N° 44

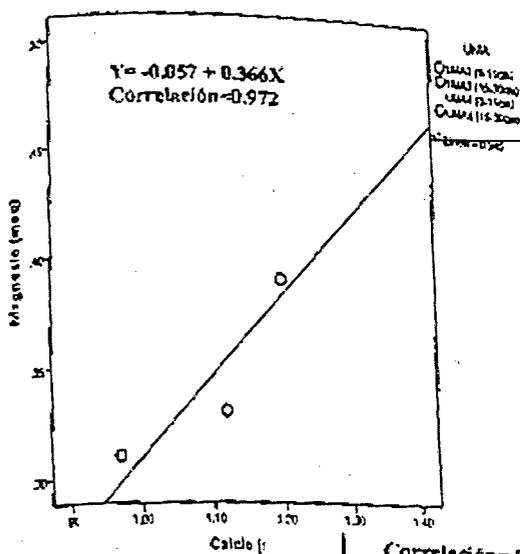


Fig. N° 45

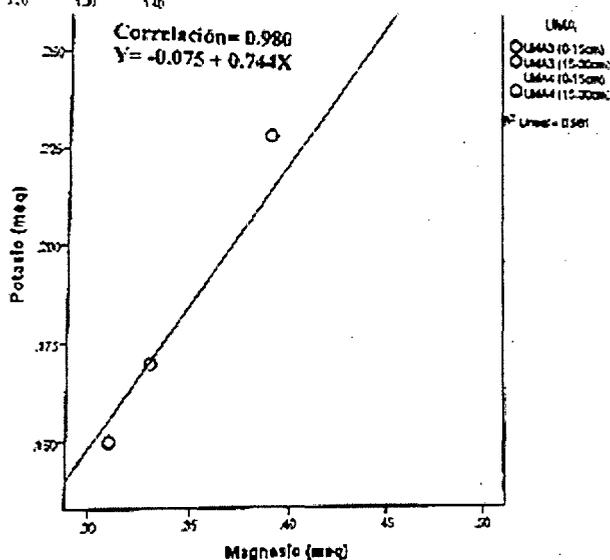
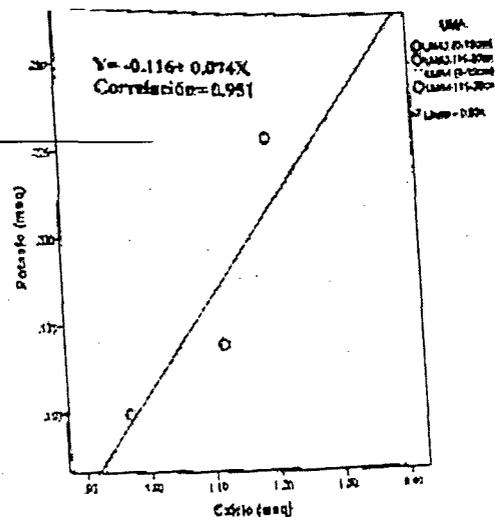


Fig.

Fig. 44, 45 y 46 Relaciones Catiónicas del grupo de suelo N° 02

En las relaciones catiónicas, el calcio muestra una alta correlación significativa con el magnesio ($r=0.972$) y con el potasio ($r=0.951$); el magnesio muestra muy buena correlación con el potasio ($r=0.980$). En este grupo de suelo encontramos valores de Ca/Mg que oscilan de de 1,46 a 3.36; de Ca/K de 2.28 a 6.59 y de Mg/K de 1.43 a 2.07 (anexo 8.2); lo que nos indica que existe una notable variabilidad con un desbalance nutricional.

4.1.3.3. Análisis de variables del grupo de suelo N° 3

a) Relación del cambio de profundidad del suelo con otras variables

Fig. N° 47

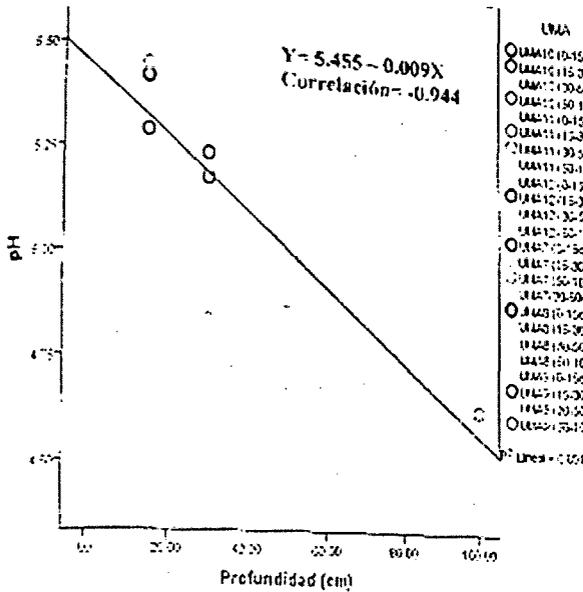


Fig. N° 48

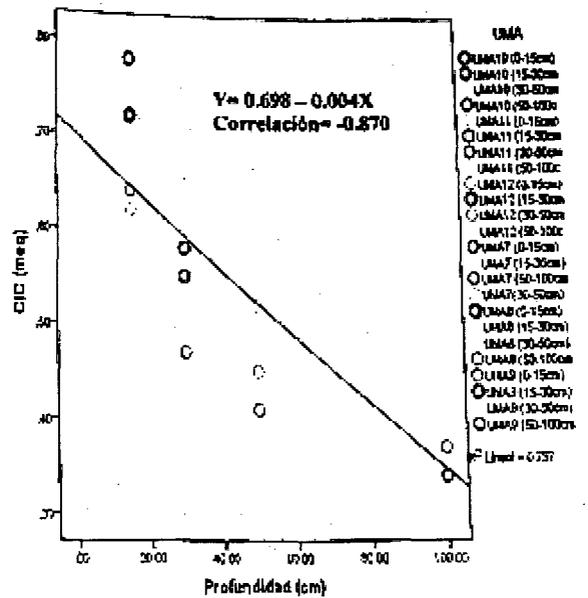


Fig. 47, 48, 49 y 50 Relaciones de la profundidad del suelo con otras variables del suelo

En este grupo de suelo se muestra una buena relación inversa y significativa de esta variable con el pH ($r=-0.944$), la CIC ($r=-0.870$) y la materia orgánica ($r=-0.878$), y una buena relación positiva con la humedad del suelo ($r=0.804$).

Fig. N° 49

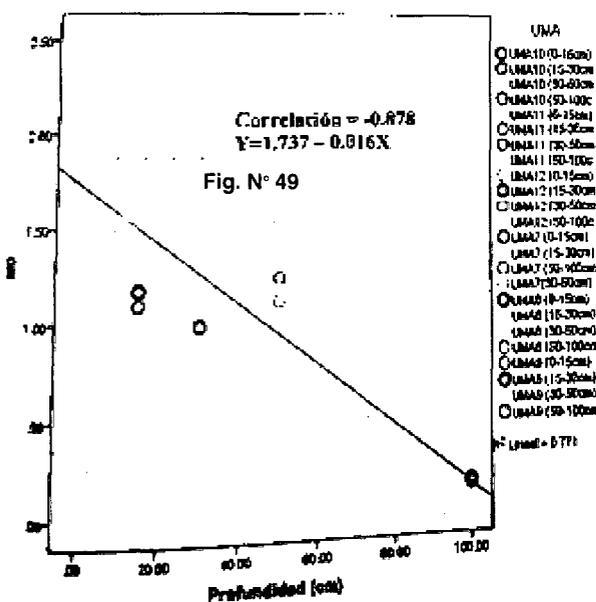
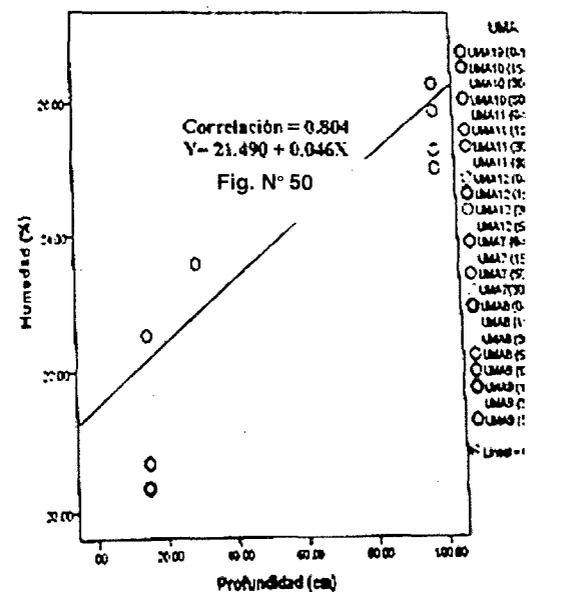


Fig. N° 50



c) Materia Orgánica

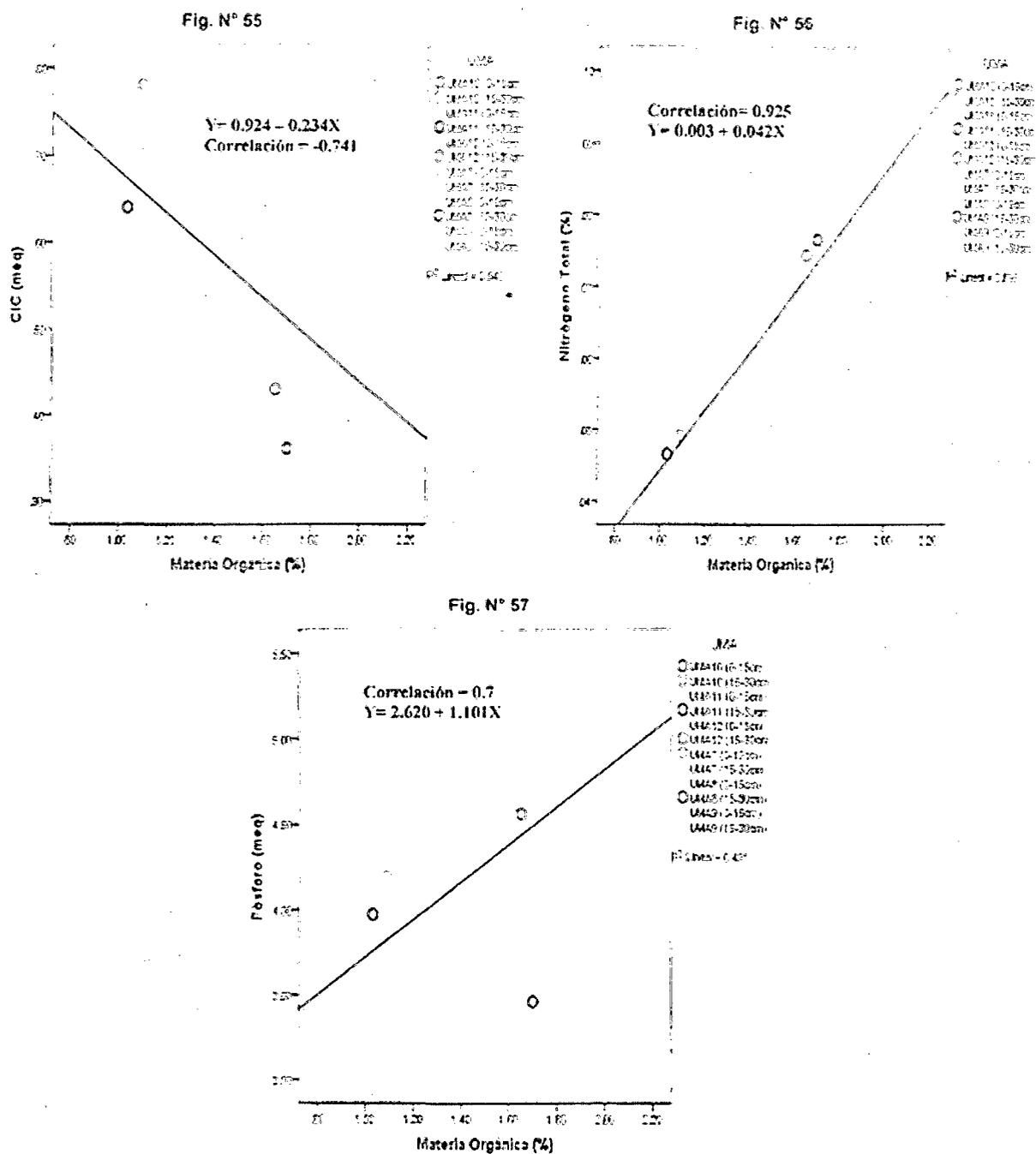


Fig. 55, 56 y 57 Relaciones de la materia orgánica con otras variables del suelo

En este grupo debido a la presencia de un horizonte profundo y a un buen contenido de materia orgánica, se muestra una elevada correlación significativa de esta variable con el NT ($r = 0.925$), una correlación significativa con el fosforo ($r = 0.7$) y con la CIC ($r = 0.741$).

d) Relaciones catiónicas

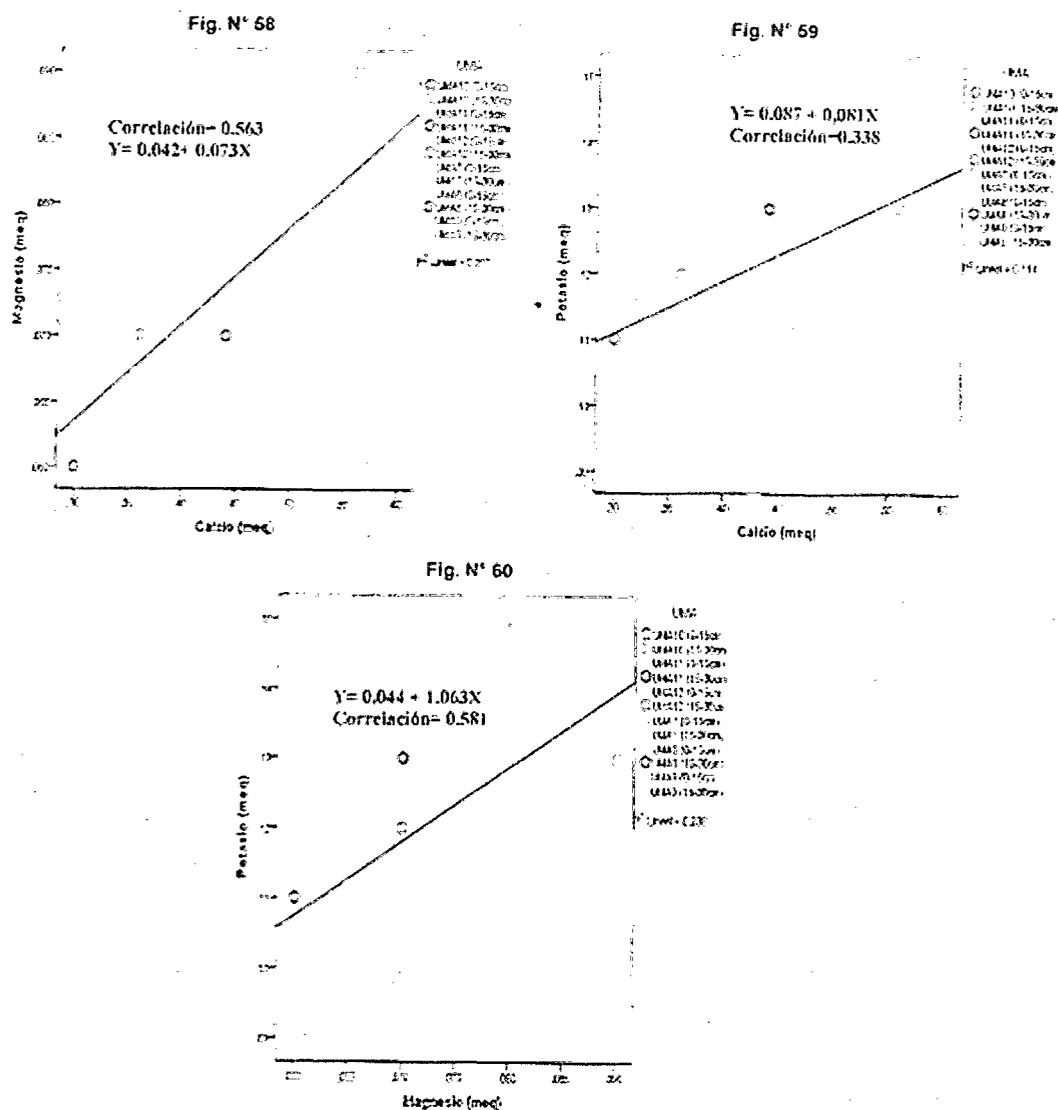


Fig. 58, 59 y 60 Relaciones Catiónicas del grupo de suelo N° 03

En las relaciones catiónicas, el calcio muestra una mediana correlación significativa con el magnesio ($r=0.563$) y baja a moderada con el potasio ($r=0.330$); el magnesio muestra una mediana correlación con el potasio ($r=0.581$). En este grupo de suelo encontramos valores de Ca/Mg que oscilan de 4.20 a 7.20 lo que nos indica una buena relación; de Ca/K de 2.63 a 5.14 debajo del promedio, y de Mg/K de 0.4 a 0.75 valores muy debajo del promedio (anexo 8.4, 8.5 y 8.6); lo que nos indica que existe un desbalance nutricional.

4.2. Estado nutricional de la palma aceitera

Las concentraciones óptimas de los nutrientes pudieron variar considerablemente en el tejido foliar dependiendo de varios factores como edad de la planta, número de la hoja, lluvia, propiedades del suelo, materiales de siembra, espacio y competencia entre palmas y la relación con otros nutrientes (Fairhurst y mutert, 1999b).

Por esta razón, en el cuadro N° 20 se hace referencia a los rangos de concentración foliar de nutrientes asociados con un estado nutricional (bajo, medio y alto), en lugar de un solo valor crítico (cuadro N° 11).

Cuadro N° 20: nutrientes de la palma en tejido foliar hoja 17

Elementos	Grupo N° 01		Grupo N° 02	Grupo N° 03		
	MO	EM	VM	MN	SP	PU
Ca (%)	0.06 *	0.05*	0.04*	0.05*	0.01*	0.04*
Mg (%)	0.19*	0.38***	0.34***	0.31***	0.26**	0.46***
P (%)	0.11*	0.15*	0.13*	0.11*	0.13*	0.14*
K (%)	0.18*	1.09**	1.27***	1.57***	0.18*	0.76*
N (%)	2.01*	2.85***	2.47**	2.05*	2.22*	2.33*

* Bajo - ** Medio - *** Alto

En este cuadro notamos que en todo los grupos de suelos identificados, el Ca presenta un nivel bajo lo que puede ejercer una fuerte limitación a la productividad del cultivo, pero con una alta probabilidad de respuesta positiva a su aplicación. Mientras que los demás elementos presentan una gran variabilidad en cuanto a su concentración, presentando rangos de bajo, mediano y alto, esto puede ser causado por factores ambientales, edad de la planta y por las condiciones edáficas.

V. CONCLUSIONES

Considerando los objetivos planteados en esta investigación, las conclusiones obtenidas se exponen a continuación:

CALIDAD DE SITIO

1. Los suelos estudiados de la zona presentan textura media franco-arenosa, Franco-limosa y Franco-arcillosa en los primeros horizontes y francos arcillosos en los horizontes inferiores, con valores bajos a medios de pH desde ácidos a llegar casi a la neutralidad, tanto en horizontes superficiales como subsuperficiales; también presentan un contenido de materia orgánica en superficie ligeramente inferior a lo óptimo (<2.5%), disminuyendo en horizontes subsuperficiales. Los suelos estudiados presentan profundidades efectivas que varían desde los 35 – 45 cm, siendo escasa la presencia de estrato rocoso en los horizontes. En términos generales, para una ideal productividad relativa de las raíces la profundidad útil está comprendida a mayores de 50 cm; a profundidades menores, las palmas pueden sobrevivir, con el riesgo de que en condiciones adversas, como un exceso de temperatura, sequía o humedad, pueden sufrir daños de consideración.
2. De acuerdo a las características físico-químicas encontradas en la caracterización de los suelos en las zonas de Campo Verde, Neshuya-Curimana, se puede indicar que éstos presentan una Capacidad Agrológica media, la cual evidencia que en la zona de Neshuya-Curimana presenta condiciones más aprovechables para el desarrollo del cultivo a comparación con la zona de Campo Verde, pero con algunas limitaciones desde el punto de vista de las condiciones edáficas.
3. Los coeficientes de regresión y correlación entre parámetros edáficos indican que en los grupos de suelo, la materia orgánica se asocia positivamente con la CIC, con el fósforo y con el nitrógeno total. Mientras el pH se asocia negativamente con el porcentaje de saturación de aluminio, y positivamente con el porcentaje de saturación de bases, con la CIC y con el contenido de fósforo. También se muestra una asociación

negativa de la profundidad del suelo con el contenido de materia orgánica, CIC y el pH; pero positivo con la con la humedad del suelo. En las relaciones catiónicas se observa un desbalance nutricional del suelo, debido posiblemente a la mala distribución de estos elementos en el suelo

ESTADO NUTRICIONAL DE LA PALMA ACEITERA

1. El análisis foliar es una herramienta complementaria del análisis de suelos y muy importante en las recomendaciones de fertilización en un cultivo. A través de él podemos conocer si los nutrientes en el suelo si están en forma asimilable para la planta, además de detectar deficiencias nutricionales en cualquier estado. Un efecto importante es que nos da a conocer las deficiencias que no observamos a nivel de campo en el sistema foliar; como en todo análisis de cualquier cosa que se haga, se deben tener niveles o rangos comparativos, para de esta manera poder decir si estamos suficientes, bajos o altos. Estos niveles que ya han sido determinados para casi todos los cultivos, se conocen como Niveles Críticos Foliare. Pero se debe tener mucho cuidado con ellos, ya que dependen de: la variedad o material genético, ubicación geográfica, condiciones ambientales y edad del cultivo.
2. En nuestro caso específico se encontró que la mayor parte de la variación en los niveles óptimos de concentraciones foliares para los tres grupo de suelos es causado por factores ambientales y la edad de la planta. En el caso de Nitrógeno y magnesio oscilan de bajo a alto, existiendo mucha variabilidad; Parece que la palma aceitera no es tan exigente en fósforo y calcio, como lo es en nitrógeno y potasio, pero en este caso presentan valores muy bajos generando una deficiencia de estos nutrientes que se refleja sobre la fisiología (crecimiento lento) y la producción. Y por último presenta niveles de potasio que van desde bajos, medios a altos, que son fluctuaciones significativas causados normalmente por la disponibilidad de humedad del suelo.

VII. BIBLIOGRAFÍA.

- ✘ ARIAS N. 2004. Análisis de suelo. (En línea) <http://www.inta.gov.ar/concepcion/info/hie/04/113.htm> (10 Junio 2007).
- ✘ BARREIRA, E.A. 1978. Fundamentos de Edafología para la Agricultura. Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires.
- ✘ BAVER, L.D., y GARDNER, W.R. 1973. Física de suelo. Ed. UTEHA. México.
- ✘ BENNETT, D. Y DOSS, B. 1960. Effect of soil moisture level on root distribution of cool-season forage species. Agrom. J. 52: 204-207.
- ✘ BONNEAU, M., SOCHIER, B. 1987. Edafología 2. Constituyentes y propiedades del suelo. Ed. Toray-Masson. Barcelona.
- ✘ BRADY, N.C. AND R.R. WEIL. 1999. The nature and properties of soils. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- ✘ BOTTA et al. 2003. Propiedades Físicas del Suelo. Accessmylibrary. 406_ITM.
- ✘ CAILLIERE, S., HENIN, S., RAUTUREAU, M. 1982. Minéralogie des argiles. Tome 1. Structure et propriétés physicochimiques. Ed. Masson. París.
- ✘ CALDERÓN F Y PAVLOVA M. 1999. Metodologías para Análisis Químico de Suelos.
- ✘ CARBALLAS, T. et al. 1981. Clave para la clasificación de los suelos (UNESCO-FAO). Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. Madrid.
- ✘ CARDÚS, J. 1962. Intercambio iónico en suelos y en vegetales. Ed. Real Academia Española de Farmacia. Barcelona.
- ✘ CASANOVA, E. 1991. Introducción a la ciencia del suelo. Litopar, c.a. Caracas, Venezuela. 393p.
- ✘ CHIRINOS, A.V. Y J. BRITO. 1985. Muestreo de suelos para diagnóstico de fertilidad. Serie E, No. 8-02. FONAIAP, Maracay. p. 18.
- ✘ DARWICH, N. 1998. Manual de Fertilidad de Suelo y Uso de Fertilizantes.

- ✎ DATTARI. 2004. La importancia de la materia orgánica en el suelo. Rev.Terralia. (en línea) 13:22. Disponible en: <http://www.inforganic.com/?q=node/497> (05 de Enero de 2008).
- ✎ DONOSO 1992. Densidad aparente. *posted by puertomontt*. September 22, 2005
- ✎ DUCHAUFOR, P. 1975. Manual de Edafología. Ed. Toray-Masson. Barcelona.
- ✎ DUCHAUFOR, P. 1984. Edafología 1. Edafogénesis y clasificación. Ed. Toray Masson. Barcelona.
- ✎ EMERSON, W.W., y DEXTER, A.R. 1978. Modification of soil structure. Ed. John Wiley. New York.
- ✎ FAO; "Base referencial mundial del recurso suelo", Ed: FAO, ISRIC y SICS, 1999, págs. 90.
- ✎ FAO The State of Food and Agriculture (SOFA). 1993. Water Policies and Agriculture. Rome, Italy.
- ✎ FERREYRA, E., S. SELLESVAN Y TOSSO, T. 1985. Effect of different water levels on pepper. Influence of excess humidity. *Agricultura técnica* 45(1): 47-51.
- ✎ FOTH, H.D. 1987. Fundamentos de la ciencia del suelo. Ed. Continental. México.
- ✎ FOTH, H. 1986. Los suelos y la nutrición mineral de las plantas. Calcio y Magnesio. Fundamentos de la ciencia del suelo. Cap 12 pg. 318.
- ✎ GARCÍA, J., GARCÍA, R. 1982. Edafología y fertilización agrícola. Ed. AEDOS. Barcelona.
- ✎ GARCÍA, A. 1995. Diagnóstico y control de la fertilidad en suelos afectados por sales y sodio. Fertilidad de Suelos, Diagnóstico y Control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- ✎ GAVANDE, S.A. 1972. Física de suelos. Principios y aplicaciones. Ed. Limusa-Wiley. México.
- ✎ GISBERT, J.M; IBÁÑEZ, SARA; "Génesis de Suelos" Ed: Universidad Politécnica de Valencia, 2001, págs. 222

- ✎ GUITIÁN OJEA, F., y CARBALLAS FERNÁNDEZ, T. 1976. Técnicas de análisis de suelos. Ed. Pico Sacro. Santiago de Compostela.
- ✎ GUTIÉRREZ, F.L. O. 1997. Evaluación de la calidad del dato analítico. I., 63-72 pp. En: Osorio, W. Diagnostico Químico de la Fertilidad de Suelos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Medellín. ICA. 1992. Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación. Produmedios, Santafé de Bogotá.
- ✎ HALLMARK, W. Y S. BARBERS. 1981. Root growth and morphology, nutrient uptake and nutrient status of soybeans affected by K and density. Agron. J. 71(5): 779-782.
- ✎ HARRISON, L. 1980. La Fertilidad de los Suelos. Living Soil. <http://www.tierramor.org/Articulos/Fertilidad%20de%20suelos.htm>
- ✎ IMPOFOS 1997. Manual Internacional de Fertilidad de Suelos.
- ✎ IÑIGUEZ, Max., Manejo y Conservación de Suelos y Aguas, Loja, 1999
- ✎ KONONOVA, M.M. 1981. Materia orgánica del suelo. Ed. Oikos. Barcelona.
- ✎ KUBAT, J., (Ed.). 1992. Humus. Its sturcutre and role in agriculture and environment. Ed. Elsevier. Amsterdam.
- ✎ LAL, R. 1998. Soil quality and sustainable. Advances in Soil Science. CRC Press. Boca Raton, Florida. pp. 17-30.
- ✎ LAL. 2000. Propiedades Físicas del Suelo. Accessmylibrary. 406_ITM.
- ✎ MALAGON, D. 1976. Propiedades físicas de los suelos. IGAC. Vol. XII. N° 7. Bogotá, Colombia. 622p.
- ✎ NARRO, E. 1994. Física de suelos. Con enfoque agrícola. Ed. Trillas. México.
- ✎ NAVARRO, S., y NAVARRO, G. 1984. Temas de química agrícola. Ed. Academia. León.
- ✎ NAVA S., A. Y GONZÁLES., K. 1967. Guía Rural Agrícola y Pecuaria. Editorial Graficlub, C, A. Venezuela. 446 p.

- ✎ PERALTA, M. 1995. Guía N° 2 de Edafología, Universidad de Chile, Fac. de Cs. Forestales. Dpto de Silvicultura.
- ✎ PLASTER E., 2000 La Ciencia del Suelo y su Manejo. Ed. Paraninfo
- ✎ PORTA, J., 1986. Técnicas y experimentos en edafología. Ed. Colegio de Ingenieros Agrónomos de Cataluña. Barcelona.
- ✎ PORTA, J., LÓPEZ-ACEVEDO, M., y ROQUERO, C. 1999. Edafología. Para la agricultura y medio ambiente. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- ✎ PORTA, J; LOPEZ-ACEVEDO, MARTA; ROQUERO, CARLOS: "Edafología para la agricultura y el medio ambiente", Ed. Mundiprensa, 3ª edición, 2003, págs. 629.
- ✎ RUSELL, W. 1973. Soil condition and plant growth. Ed. William Clowes and Sons. London.
- ✎ SÁNCHEZ, C. 2007. Corrección de suelos ácidos. Disponible en: http://www.engormix.com/enmiendas_calizas_correccion_suelos_s_articulos_950_AGR.htm. (18 Octubre 2007).
- ✎ SCOUT. 2000. Propiedades Físicas del Suelo. Accessmylibrary. 406_ITM.
- ✎ SEIJAS, *et al.*, 2010, Cultivo de palma acietera en la Region Ucayali. Olamsa, Cocepu. Ucayali. p 45
- ✎ SOLÓRZANO, G., COLINA, R. 1990. Instructivo de Fertilización. FONAIAP- Mérida
- ✎ SOSA, A. 2002. Muestreo de suelos. Rev. Rivadavia. 1439 (1033).
- ✎ U.N.E.F.M, 2000. Manual práctico de laboratorio de suelo. Programa de agronomía, laboratorio de suelos. El hatillo.160p.
- ✎ VIETS, F. 1967. Nutrient availability in relation to soil water. Amer. Soc. Agron. 11: 458-471.
- ✎ USDA. 1977. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Ed. Limusa. México.
- ✎ WARRICK. 2002. Propiedades Físicas del Suelo. Accessmylibrary. 406_ITM
- ✎ WHITE, R.E. 1979. Introduction to the principes and practice of soil science. Blackwell Publ. San José, Oficina de Publicaciones, UCR.

VIII. ANEXOS

8.1. Parcela de investigación N° 01: Monte de los olivos

Calicata N° 01

Prof. (cm)	Textura				Estruc.	gr/cc DAP	H %	T°/S°	(Cm/h) Infiltr.	%		Prof. Efec. (cm)	Propiedades químicas												Rel. Ca/Mg	Rel. Ca/K	Rel. Mg/K	
	% Arena	% Arcilla	% Limo	Clase textural						raíz	Roc.		pH	(ppm) P	(meq) Al	(meq) Mg	(meq) K	(meq) Ca	% C.O	% M.O	% N.T	% sat bases	% sat Al	CICE				CIC
0-15	73	11,4	15,6	F. arenoso	Granular	1.4	20.7	26.3°	2.6	15	0	45	5.52	14.32	0.38	0.98	0.89	0.97	0.98	1.685	0.076	88.2	11.8	3.22	2.84	0.99	1.09	1.10
15-30	72	13,4	14,6	F. arenoso		1.4	22.7	26°		30	0		5.01	10.6	0.46	0.81	0.69	0.51	0.82	1.410	0.063	81.4	18.62	2.47	2.01	0.63	0.74	1.17
30-50	40	40	22	F. Arcilloso		1.26	25.3	26.5°		10	0		4.81	7.32	0.56	0.64	0.53	0.23	0.79	1.358	0.061	71.4	28.57	1.96	1.4	0.36	0.43	1.21
50-100	13,8	73	13,2	Arcilloso		1.24	26.4	26.8°		0	0		4.72	4.3	0.59	0.34	0.23	0.09	0.09	0.155	0.007	52.8	47.2	1.25	0.66	0.26	0.39	1.48

Calicata N° 02

Prof. (cm)	Textura				Estruc.	gr/cc DAP	H %	T°/S°	(Cm/h) Infiltr.	%		Prof. Efec. (cm)	Propiedades químicas												Rel. Ca/Mg	Rel. Ca/K	Rel. Mg/K	
	% Arena	% Arcilla	% Limo	Clase textural						raíz	Roc.		pH	(ppm) P	(meq) Al	(meq) Mg	(meq) K	(meq) Ca	% C.O	% M.O	% N.T	% sat bases	% sat Al	CICE				CIC
0-15	24.24	16.31	59.45	F. arenoso	Granular	1.42	20.7	26.8°	2.4	2	0	43	5,3	10.32	0.37	0.89	0.69	0.98	1.02	1.7544	0.07895	87.4	12.63	2.93	2.56	1.10	1.42	1.29
15-30	21.34	13.36	65.3	F. arenoso		1.4	22.4	26.7°		10	0		5.2	9.75	0.48	0.84	0.61	0.84	0.89	1.5308	0.06889	82.7	17.33	2.77	2.29	1.00	1.38	1.38
30-50	24.21	37.54	19,2	F. Arcilloso		1.25	26.2	26.6°		1	0		5	6.5	0.58	0.74	0.52	0.46	0.75	1.29	0.05805	74.8	25.22	2.3	1.72	0.62	0.88	1.42
50-100	38.4	39.7	23,6	F. Arcilloso		1.25	27.6	26.4°		0	0		4.88	3.9	0.6	0.51	0.32	0.22	0.08	0.1376	0.00619	63.6	36.36	1.65	1.05	0.43	0.69	1.59

8.2. Parcela de investigación N° 02: Villa Mercedes

Calicata N° 03

Prof. (cm)	Textura				Estruc.	gr/cc DAP	H %	T°/S°	(Cm/h) Infiltr.	%		Prof. Efec. (cm)	Propiedades químicas															
	% Arena	% Arcilla	% Limo	Clase textural						Rafz	Roc.		pH	(ppm) P	(meq) Al	(meq) Mg	(meq) K	(meq) Ca	% C.O	% M.O	% N.T	% sat bases	% sat Al	CICE	CIC	Rel. Ca/Mg	Rel. Ca/K	Rel. Mg/K
0-15	53.88	26.82	19.3	F. Ar. A	Granular	1.3	24.3	25°	1.9	2	0	35	4.73	4.6	3.5	0.33	0.17	1.12	1.4	2.408	0.1083	31.64	68.35	5.12	1.62	3.39	6.59	1.94
15-30	52.88	28.62	18.5	F. Ar. A		1.28	24.6	24.9°		25	0		4.65	2.5	3.7	0.31	0.15	0.97	0.724	1.24528	0.0560	27.87	72.12	5.13	1.43	3.13	6.47	2.07
30-50	36.8	37.8	21,6	F. Arcilloso		1.25	25.7	24.5°		5	0		4.12	0.9	3.9	0.24	0.12	0.64	0.64	1.1008	0.0495	20.40	79.59	4.9	1	2.67	5.33	2.00
50-100	20.04	60.32	13,6	arcilloso		1.25	25.6	25.2°		0	0		4.00	0.2	4	0.21	0.11	0.32	0.06	0.1032	0.0046	13.79	86.20	4.64	0.64	1.52	2.91	1.91

Calicata N° 04

Prof. (cm)	Textura				Estruc.	gr/cc DAP	H %	T°/S°	(Cm/h) Infiltr.	%		Prof. Efec. (cm)	Propiedades químicas															
	% Arena	% Arcilla	% Limo	Clase textural						Rafz	Roc.		pH	(ppm) P	(meq) Al	(meq) Mg	(meq) K	(meq) Ca	% C.O	% M.O	% N.T	% sat bases	% sat Al	CICE	CIC	Rel. Ca/Mg	Rel. Ca/K	Rel. Mg/K
0-15	52.88	24.62	22.3	F. Ar. A	Granular	1.3	24	24.3°	2	2	0	33	5	4.3	2.8	0.46	0.26	1.4	1.4	2.408	0.108	43.08	56.9	4.92	2.12	3.04	5.38	1.77
15-30	51.88	30.62	17.5	F. Ar. A		1.28	24.5	24.1°		35	0		4.67	2.6	3	0.39	0.23	1.2	1.36	2.3392	0.105	37.759	62.2	4.82	1.82	3.08	5.22	1.70
30-50	40	37.8	21,6	F. Arcilloso		1.26	26.5	24.7°		3	0		4.5	1	3.2	0.3	0.21	0.87	0.94	1.6305	0.073	30.131	69.8	4.58	1.38	2.90	4.14	1.43
50-100	20.04	60.32	13,6	arcilloso		1.24	28	24.9°		1	0		4.35	0.8	3.4	0.28	0.18	0.41	0.07	0.1204	0.005	20.375	79.6	4.27	0.87	1.46	2.28	1.56

8.3. Parcela de investigación N° 03: El maronal

Calicata N° 05

Prof. (cm)	Textura				Estruc.	gr/cc DAP	H%	T/S°	(Cm/h) Infit.	% Raíz/Roc.		Prof. Efec. (cm)	Propiedades químicas															
	% Arena	% Arcilla	% Limo	Clase textural						raíz	Roc.		pH	(ppm) P	(meq) Al	(meq) Mg	(meq) K	(meq) Ca	% C.O	% M.O	% N.T	% sat. bases	% sat. Al	CICE	CIC	Rel. Ca/Mg	Rel. Ca/K	Rel. Mg/K
	0-15	71.88	14.5	13.62						F. Arenoso	Granular		1.42	20.3	28°	2.5	5	0	40	6.12	4.5	0.3	1.6	0.13	1.4	0.85	1.46	0.0657
15-30	68.88	19.5	11.62	F. Arenoso	1.39	21.5	26.7°	10	0	5.45		2.7	0.45	1.57	0.12		0.93	0.628		1.077	0.04847	85.3	14.66	3.07	2.62	0.59	7.75	13.08
30-50	58	24,4	17,6	F. Ar. A	1.28	23,7	26,6°	2	0	5.00		1.3	0.58	1.42	0.22		0.57	0.5		0.86	0.0387	79.2	20.79	2.79	2.21	0.40	2.59	6.45
50-100	60	25,4	14,6	F. Ar. A	1.26	25,9	26,2°	0	5	4.85		0.2	0.65	1.4	0.1		0.53	0.08		0.1376	0.00619	75.7	24.25	2.68	2.03	0.38	5.30	14.00

Calicata N° 06

Prof. (cm)	Textura				Estruc.	gr/cc DAP	H%	T/S°	(Cm/h) Infit.	% Raíz/Roc.		Prof. Efec. (cm)	Propiedades químicas															
	% Arena	% Arcilla	% Limo	Clase textural						raíz	Roc.		pH	(ppm) P	(meq) Al	(meq) Mg	(meq) K	(meq) Ca	% C.O	% M.O	% N.T	% sat. bases	% sat. Al	CICE	CIC	Rel. Ca/Mg	Rel. Ca/K	Rel. Mg/K
	0-15	71.88	14.62	13.5						F. arenoso	Granular		1.41	20.7	27.8°	2.5	10	0	38	5.78	4.6	0.45	1.6	0.13	1.42	0.92	1.58	0.0711
15-30	68.88	18.5	12.62	F. arenoso	1.39	21.7	27.5°	12	0	5		3.9	0.52	1.5	0.13		0.94	0.836		1.438	0.06471	83.2	16.83	3.09	2.57	0.63	7.23	11.54
30-50	59	21,4	19,6	F. Ar. A	1.26	24,3	26,7°	45	0	4.97		1.5	0.63	1.41	0.12		0.5	0.6		1.03	0.04635	74.6	25.4	2.48	2.03	0.35	4.17	11.75
50-100	58	19,4	22,6	F. Ar. A	1.24	26,5	26,8°	2	0	4.73		1.2	0.68	1.36	0.11		0.4	0.07		0.1204	0.00542	73.3	26.67	2.55	1.87	0.29	3.64	12.36

8.4. Parcela de investigación N° 04: San Pedro

Calicata N° 07

Textura				Estruc.	gr/cc DAP	H %	T°/S°	(Cm/h) Infit.	% raiz		Prof. Efec. (cm)	Propiedades químicas															
% Arena	% Arcilla	% Limo	Clase textural						raiz	Roc.		pH	(ppm) P	(meq) Al	(meq) Mg	(meq) K	(meq) Ca	% C.O	% M.O	% N.T	% sat bases	% sat Al	CICE	CIC	Rel. Ca/Mg	Rel. Ca/K	Rel. Mg/K
24.24	16.31	59.45	F. Limoso						Granular	1.36		20.7	24.9°	1.5	3	0	35	5.29	4.19	0.28	0.09	0.13	0.56	0.63	1.09	0.049	73.6
21.34	13.36	65.3	F. Limoso	1.33	22.6	24.5°	20	0		5.24	3.46	0.3	0.07		0.11	0.48		0.57	0.9804	0.04412	68.8	31.25	0.96	0.66	6.86	4.36	0.64
16	49.7	41.7	arcillo limoso	1.27	24.3	24.7°	4	0		4.98	3.21	0.34	0.06		0.10	0.36		0.42	0.72	0.0324	55.3	44.74	0.76	0.42	6.00	3.60	0.60
19.3	61.7	19.1	arcilloso	1.26	25.9	24.4	0	0		4.64	2.01	0.36	0.04		0.09	0.24		0.08	0.1376	0.00619	50.7	49.32	0.73	0.37	6.00	2.67	0.44

Calicata N°08

Prof. (cm)	Textura				Estruc.	gr/cc DAP	H %	T°/S°	(Cm/h) Infit.	% raiz		Prof. Efec. (cm)	Propiedades químicas															
	% Arena	% Arcilla	% Limo	Clase textural						raiz	Roc.		pH	(ppm) P	(meq) Al	(meq) Mg	(meq) K	(meq) Ca	% C.O	% M.O	% N.T	% sat bases	% sat Al	CICE	CIC	Rel. Ca/Mg	Rel. Ca/K	Rel. Mg/K
	0-15	24.24	16.31	59.45						F. Limoso	Granular		1.35	20.3	24.6°	1.6	1	0	40	5.42	4.16	0.29	0.08	0.15	0.49	0.68	1.1696	0.05263
15-30	21.34	13.36	65.3	F. Limoso	1.32	23	24.8°	8	0	5.21		3.97	0.31	0.07	0.13		0.44	0.6		1.032	0.04644	67.4	32.63	0.95	0.64	6.29	3.38	0.54
30-50	39.6	29.7	59.5	F. Limoarcilloso	1.28	24.9	24.2°	1	0	5		3.1	0.37	0.07	0.1		0.38	0.45		0.774	0.03483	59.8	40.22	0.92	0.55	5.43	3.80	0.70
50-100	20.01	62	20.1	arcilloso	1.24	25	24°	0	0	4.62		2.3	0.39	0.05	0.08		0.24	0.07		0.1204	0.00542	48.7	51.32	0.76	0.37	4.80	3.00	0.63

8.5. Parcela de investigación N° 05: Las palmeras de Ucayali

Calicata N° 09

Prof. (cm)	Textura				Estruc.	gr/cc DAP	H %	T/S°	(Cm/h) Infil.	%		Prof. Efec. (cm)	Propiedades químicas															
	% Arena	% Arcilla	% Limo	Clase textural						raiz	Roc.		pH	(ppm) P	(meq) Al	(meq) Mg	(meq) K	(meq) Ca	% C.O	% M.O	% N.T	% sat bases	% sat Al	CICE	CIC	Rel. Ca/Mg	Rel. Ca/K	Rel. Mg/K
0-15	24.24	16.31	59.45	F. Limoso	Granular	1.34	22.5	26.8°	1.7	10	0	35	5.45	3.79	0.28	0.07	0.1	0.47	0.96	1.6512	0.049	69.6	30.43	0.92	0.64	6.71	4.70	0.70
15-30	21.34	13.36	65.3	F. Limoso		1.31	24.4	26.4		20	0		5.24	3.34	0.29	0.06	0.09	0.43	0.57	0.9804	0.04412	66.7	33.33	0.87	0.58	7.17	4.78	0.67
30-50	18.14	32	48.25	F. Limoarcilloso		1.29	26.4	26.7°		4	0		4.98	2.97	0.31	0.05	0.07	0.36	0.42	0.7224	0.03251	60.8	39.24	0.79	0.48	7.20	5.14	0.71
50-100	20	61.23	21.3	arcilloso		1.25	26.3	26.5°		0	0		4.64	2.01	0.33	0.04	0.06	0.24	0.07	0.1204	0.00542	50.7	49.25	0.67	0.34	6.00	4.00	0.67

Calicata N° 10

Prof. (cm)	Textura				Estruc.	gr/cc DAP	H %	T/S°	(Cm/h) Infil.	%		Prof. Efec. (cm)	Propiedades químicas															
	% Arena	% Arcilla	% Limo	Clase textural						raiz	Roc.		pH	(ppm) P	(meq) Al	(meq) Mg	(meq) K	(meq) Ca	% C.O	% M.O	% N.T	% sat bases	% sat Al	CICE	CIC	Rel. Ca/Mg	Rel. Ca/K	Rel. Mg/K
0-15	24.24	16.31	59.45	F. Limoso	Granular	1.35	20.3	26.4°	1.5	1	0	40	5.42	4.16	0.29	0.08	0.15	0.49	0.68	1.1696	0.05263	71.3	28.71	1.01	0.72	6.13	3.27	0.53
15-30	21.34	13.36	65.3	F. Limoso		1.32	23	26.2°		8	0		5.21	3.97	0.29	0.07	0.13	0.44	0.6	1.032	0.04644	68.8	31.18	0.93	0.64	6.29	3.38	0.54
30-50	19.7	31.32	49.67	F. Limoarcilloso		1.28	24.9	25.9°		1	0		5	3.1	0.32	0.07	0.1	0.38	0.45	0.774	0.03483	63.2	36.78	0.87	0.55	5.43	3.80	0.70
50-100	20.01	62	20.1	arcilloso		1.25	25.3	26°		0	0		4.62	2.3	0.33	0.05	0.08	0.24	0.09	0.1548	0.00697	52.9	47.14	0.7	0.37	4.80	3.00	0.63

8.6. Parcela de investigación N° 06: La Merced de Neshuya.

Calicata N° 11

Prof. (cm)	Textura				Estruc.	gr/cc DAP	H %	T°/S°	(Cm/h) Infit.	%		Prof. Efec. (cm)	Propiedades químicas															
	% Arena	% Arcilla	% Limo	Clase textural						raiz	Roc.		pH	(ppm) P	(meq) Al	(meq) Mg	(meq) K	(meq) Ca	% C.O	% M.O	% N.T	% sat bases	% sat Al	CICE	CIC	Rel. Ca/Mg	Rel. Ca/K	Rel. Mg/K
0-15	28.24	14.32	57.44	F. Limoso	Granular	1.36	21.4	23°	1.7	2	0	38	5.47	5.19	0.2	0.07	0.12	0.32	1.2	2.064	0.09288	66.1	33.9	0.59	0.39	4.57	2.70	0.58
15-30	21.34	13.36	65.3	F. Limoso		1.34	23.6	23°		10	0		4.84	3.46	0.2	0.06	0.11	0.3	0.98	1.7	0.0765	64.3	35.71	0.56	0.36	5.00	3.30	0.54
30-50	16	49.7	41.7	arcillo limoso		1.28	24.5	23.4°		3	0		4.89	2.89	0.35	0.06	0.09	0.26	0.64	1.1	0.0495	53.9	46.05	0.76	0.41	4.33	2.89	0.67
50-100	19.3	61.7	19.1	arcilloso		1.26	25	23.6°		0	0		4.50	2.06	0.36	0.05	0.08	0.21	0.09	0.1548	0.00697	48.6	51.43	0.7	0.34	4.20	2.63	0.63

Calicata N° 12

Prof. (cm)	Textura				Estruc.	gr/cc DAP	H %	T°/S°	(Cm/h) Infit.	%		Prof. Efec. (cm)	Propiedades químicas															
	% Arena	% Arcilla	% Limo	Clase textural						raiz	Roc.		pH	(ppm) P	(meq) Al	(meq) Mg	(meq) K	(meq) Ca	% C.O	% M.O	% N.T	% sat bases	% sat Al	CICE	CIC	Rel. Ca/Mg	Rel. Ca/K	Rel. Mg/K
0-15	24.24	16.31	59.45	F. Limoso	Granular	1.35	21.7	24.3°	1.6	2	0	35	5.23	5.47	0.28	0.09	0.12	0.41	1.21	2.08	0.0936	64.1	35.9	0.78	0.5	4.56	3.42	0.75
15-30	21.34	13.36	65.3	F. Limoso		1.32	22.6	23.6°		10	0		5.18	4.56	0.29	0.07	0.12	0.36	0.96	1.6512	0.0743	59.7	40.28	0.72	0.43	5.14	3	0.58
30-50	18.14	32	48.25	F. Limoarcilloso		1.28	25.1	23.8°		2	0		4.99	3.86	0.32	0.06	0.10	0.29	0.71	1.2212	0.05495	52.2	47.76	0.67	0.35	4.83	2.9	0.6
50-100	20	61.23	21.3	arcilloso		1.25	25.4	24°		1	0		4.59	3.47	0.33	0.04	0.10	0.23	0.09	0.1548	0.00697	45	55	0.6	0.27	5.75	2.3	0.4

8.7. Análisis de regresión y correlación de la profundidad (ANOVA) de la Unidad de Manejo Agronómico N° 01.

Resumen del modelo										
Variables	Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio				
						Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F
pH	1	.745 ^a	0.554	0.523	22.89804	0.554	17.422	1	14	0.001
CIC	1	.793a	0.629	0.602	0.44083	0.629	23.694	1	14	0
MO	1	.965a	0.931	0.926	0.16313	0.931	188.158	1	14	0
H° S°	1	.915a	0.838	0.826	1.04456	0.838	72.262	1	14	0

ANOVA ^b							
Variables	Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
pH	1	Regresión	9134.517	1	9134.517	17.422	.001 ^a
		Residual	7340.483	14	524.32		
		Total	16475	15			
CIC	1	Regresión	4.604	1	4.604	23.694	.000 ^a
		Residual	2.721	14	0.194		
		Total	7.325	15			
MO	1	Regresión	5.007	1	5.007	188.158	.000 ^a
		Residual	0.373	14	0.027		
		Total	5.38	15			
H° S°	1	Regresión	78.845	1	78.845	72.262	.000 ^a
		Residual	15.275	14	1.091		
		Total	94.121	15			

a. Variables predictoras: (Constante), Profundidad (cm)

b. Variables dependientes: pH, CIC, Materia orgánica y Humedad Suelo (%)

8.8. Análisis de regresión y correlación del pH (ANOVA) de la Unidad de Manejo Agronómico N° 01.

Resumen del modelo										
Variables	Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio				
						Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F
% Sat. Al	1	.889a	0.79	0.755	1.64507	0.79	22.563	1	6	0.003
% Sat. Bases	1	.889a	0.79	0.755	1.64507	0.79	22.563	1	6	0.003
CIC	1	.877a	0.769	0.731	0.18333	0.769	19.974	1	6	0.004
P	1	.284a	0.081	-0.073	4.33243	0.081	0.526	1	6	0.496

ANOVA ^b							
Variables	Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
% Sat. Al	1	Regresión	61.061	1	61.061	22.563	.003a
		Residual	16.238	6	2.706		
		Total	77.298	7			
% Sat. Bases	1	Regresión	61.061	1	61.061	22.563	.003a
		Residual	16.238	6	2.706		
		Total	77.298	7			
CIC	1	Regresión	0.671	1	0.671	19.974	.004a
		Residual	0.202	6	0.034		
		Total	0.873	7			
P	1	Regresión	9.868	1	9.868	0.526	.496a
		Residual	112.62	6	18.77		
		Total	122.488	7			

a. Variables predictoras: (Constante), pH

b. Variables dependientes: % Sat. Al, % Sat. Bases, CIC y Fosforo

8.9. Análisis de regresión y correlación del Materia Orgánica (ANOVA) de la Unidad de Manejo Agronómico N° 01.

Resumen del modelo										
Variables	Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio				
						Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F
CIC	1	.291a	0.084	-0.068	0.36496	0.084	0.554	1	6	0.485
NT	1	.951a	0.905	0.889	0.00346	0.905	56.828	1	6	0
P	1	.651a	0.424	0.328	3.42956	0.424	4.414	1	6	0.08

ANOVA ^b							
Variables	Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
CIC	1	Regresión	0.074	1	0.074	0.554	.485a
		Residual	0.799	6	0.133		
		Total	0.873	7			
NT	1	Regresión	0.001	1	0.001	56.828	.000a
		Residual	0	6	0		
		Total	0.001	7			
P	1	Regresión	51.916	1	51.916	4.414	.080a
		Residual	70.571	6	11.762		
		Total	122.488	7			

a. Variables predictoras: (Constante), Materia Orgánica (%)

b. Variables dependientes: CIC, NT (%) y Fosforo (meq).

8.10. Análisis de regresión y correlación de la profundidad (ANOVA) de la Unidad de Manejo Agronómico N° 02.

Resumen del modelo										
Variables	Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio				
						Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F
pH	1	.808a	0.653	0.596	0.21106	0.653	11.311	1	6	0.015
CIC	1	.889a	0.791	0.756	0.24682	0.791	22.729	1	6	0.003
MO	1	.936a	0.876	0.856	0.36329	0.876	42.47	1	6	0.001
H° S°	1	.808a	0.653	0.595	0.85816	0.653	11.272	1	6	0.015

ANOVA ^b							
Variables	Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
pH	1	Regresión	0.504	1	0.504	11.311	.015a
		Residual	0.267	6	0.045		
		Total	0.771	7			
CIC	1	Regresión	1.385	1	1.385	22.729	.003a
		Residual	0.366	6	0.061		
		Total	1.75	7			
MO	1	Regresión	5.605	1	5.605	42.47	.001a
		Residual	0.792	6	0.132		
		Total	6.397	7			
H° S°	1	Regresión	8.301	1	8.301	11.272	.015a
		Residual	4.419	6	0.736		
		Total	12.72	7			

a. Variables predictoras: (Constante), Profundidad (cm)

b. Variables dependientes: pH, CIC, Materia orgánica y Humedad Suelo (%)

8.11. Análisis de regresión y correlación del pH (ANOVA) de la Unidad de Manejo Agronómico N° 02.

Resumen del modelo										
Variables	Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio				
						Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F
% Sat. AI	1	.790a	0.625	0.437	5.03369	0.625	3.331	1	2	0.21
% Sat. Bases	1	.790a	0.625	0.437	5.03369	0.625	3.331	1	2	0.21
CIC	1	.849a	0.72	0.58	0.19112	0.72	5.148	1	2	0.151
P	1	.808a	0.653	0.595	0.85816	0.653	11.272	1	6	0.015

ANOVA ^b							
Variables	Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
% Sat. Al	1	Regresión	84.391	1	84.391	3.331	.210a
		Residual	50.676	2	25.338		
		Total	135.067	3			
% Sat. Bases	1	Regresión	84.391	1	84.391	3.331	.210a
		Residual	50.676	2	25.338		
		Total	135.067	3			
CIC	1	Regresión	5.605	1	5.605	42.47	.001a
		Residual	0.792	6	0.132		
		Total	6.397	7			
P	1	Regresión	1.557	1	1.557	1.481	.348a
		Residual	2.103	2	1.051		
		Total	3.66	3			

a. Variables predictoras: (Constante), pH

b. Variables dependientes: % Sat. Al, % Sat. Bases, CIC y Fosforo

8.12. Análisis de regresión y correlación del Materia Orgánica (ANOVA) de la Unidad de Manejo Agronómico N° 02.

Resumen del modelo										
Variables	Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio				
						Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F
CIC	1	.721a	0.52	0.28	0.25038	0.52	2.165	1	2	0.279
NT	1	.897a	0.805	0.708	0.00517	0.805	8.28	1	2	0.103
P	1	.648a	0.42	0.13	1.02996	0.42	1.45	1	2	0.352

ANOVA ^b							
Variables	Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
CIC	1	Regresión	0.136	1	0.136	2.165	.279a
		Residual	0.125	2	0.063		
		Total	0.261	3			
NT	1	Regresión	0	1	0	8.28	.103a
		Residual	0	2	0		
		Total	0	3			
P	1	Regresión	1.538	1	1.538	1.45	.352a
		Residual	2.122	2	1.061		
		Total	3.66	3			

a. Variables predictoras: (Constante), Materia Orgánica (%)

b. Variables dependientes: CIC, NT (%) y Fosforo (meq).

8.13. Análisis de regresión y correlación de la profundidad (ANOVA) de la Unidad de Manejo Agronómico N° 03.

Resumen del modelo										
Variables	Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio				
						Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F
pH	1	.944a	0.891	0.886	0.10282	0.891	180.04	1	22	0
CIC	1	.870a	0.757	0.745	0.06666	0.757	68.352	1	22	0
MO	1	.878a	0.771	0.76	0.29569	0.771	73.972	1	22	0
H° S°	1	.804a	0.646	0.63	1.13108	0.646	40.227	1	22	0

ANOVA ^b							
Variables	Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
pH	1	Regresión	1.903	1	1.903	180.04	.000a
		Residual	0.233	22	0.011		
		Total	2.136	23			
CIC	1	Regresión	0.304	1	0.304	68.352	.000a
		Residual	0.098	22	0.004		
		Total	0.401	23			
MO	1	Regresión	6.468	1	6.468	73.972	.000a
		Residual	1.924	22	0.087		
		Total	8.391	23			
H° S°	1	Regresión	51.464	1	51.464	40.227	.000a
		Residual	28.145	22	1.279		
		Total	79.609	23			

a. Variables predictoras: (Constante), Profundidad (cm)

b. Variables dependientes: pH, CIC, Materia orgánica y Humedad Suelo (%)

8.14. Análisis de regresión y correlación del pH (ANOVA) de la Unidad de Manejo Agronómico N° 03.

Resumen del modelo										
Variables	Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio				
						Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F
% Sat. Al	1	.489a	0.24	0.164	3.46777	0.24	3.151	1	10	0.106
% Sat. Bases	1	.489a	0.24	0.164	3.46777	0.24	3.151	1	10	0.106
CIC	1	.466a	0.217	0.139	0.12787	0.217	2.779	1	10	0.126
P	1	.339a	0.115	0.026	0.65162	0.115	1.295	1	10	0.282

ANOVA ^b							
Variables	Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
% Sat. Al	1	Regresión	37.888	1	37.888	3.151	.106a
		Residual	120.254	10	12.025		
		Total	158.142	11			
% Sat. Bases	1	Regresión	37.888	1	37.888	3.151	.106a
		Residual	120.254	10	12.025		
		Total	158.142	11			
CIC	1	Regresión	0.045	1	0.045	2.779	.126a
		Residual	0.164	10	0.016		
		Total	0.209	11			
P	1	Regresión	0.55	1	0.55	1.295	.282a
		Residual	4.246	10	0.425		
		Total	4.796	11			

a. Variables predictoras: (Constante), pH.

b. Variables dependientes: % Sat. Al, % Sat. Bases, CIC y Fosforo.

8.15. Análisis de regresión y correlación del Materia Orgánica (ANOVA) de la Unidad de Manejo Agronómico N° 03.

Resumen del modelo										
Variables	Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio				
						Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F
CIC	1	.741a	0.549	0.503	0.09713	0.549	12.151	1	10	0.006
NT	1	.925a	0.856	0.842	0.0075	0.856	59.419	1	10	0
P	1	.700a	0.491	0.44	0.49429	0.491	9.63	1	10	0.011

ANOVA ^b							
Variables	Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
CIC	1	Regresión	0.115	1	0.115	12.151	.006a
		Residual	0.094	10	0.009		
		Total	0.209	11			
NT	1	Regresión	0.003	1	0.003	59.419	.000a
		Residual	0.001	10	0		
		Total	0.004	11			
P	1	Regresión	2.353	1	2.353	9.63	.011a
		Residual	2.443	10	0.244		
		Total	4.796	11			

a. Variables predictoras: (Constante), Materia Orgánica (%)

b. Variables dependientes: CIC, NT (%) y Fosforo (meq).

IX. ICONOGRAFIA.

9.1. Fase de Campo

Ubicación de las Parcelas de Investigación

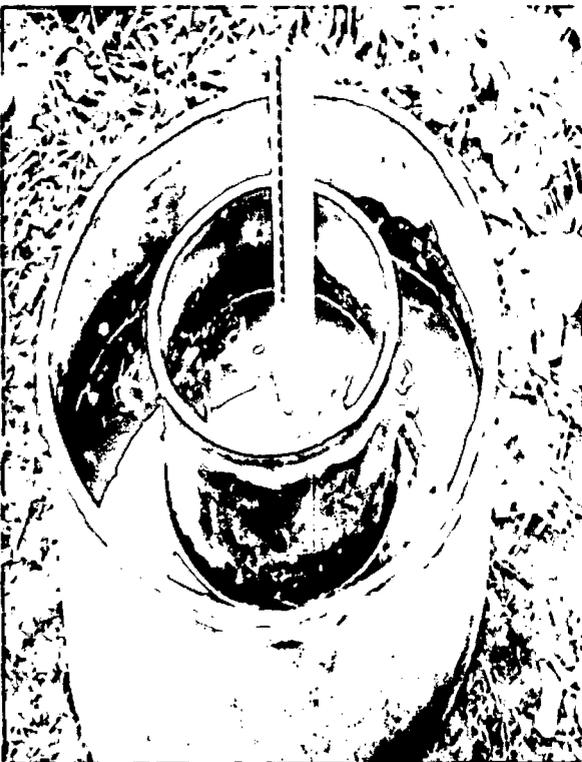
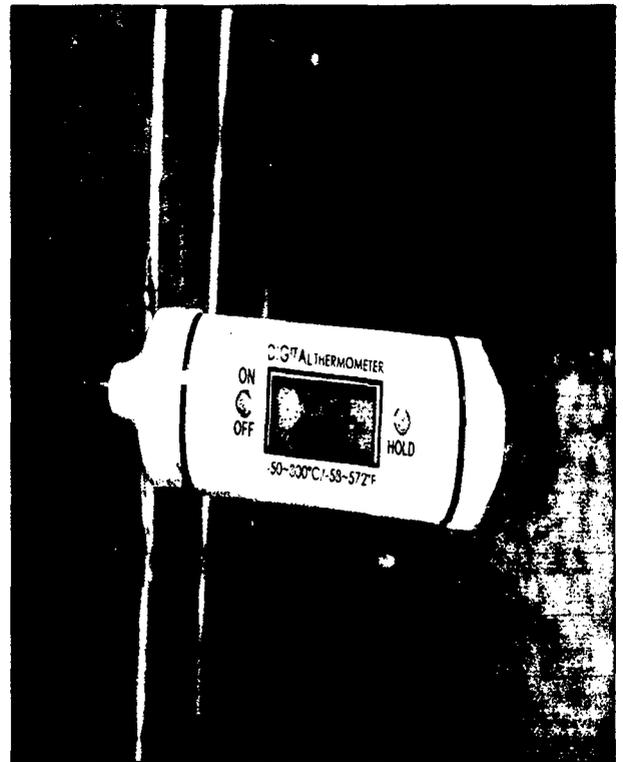


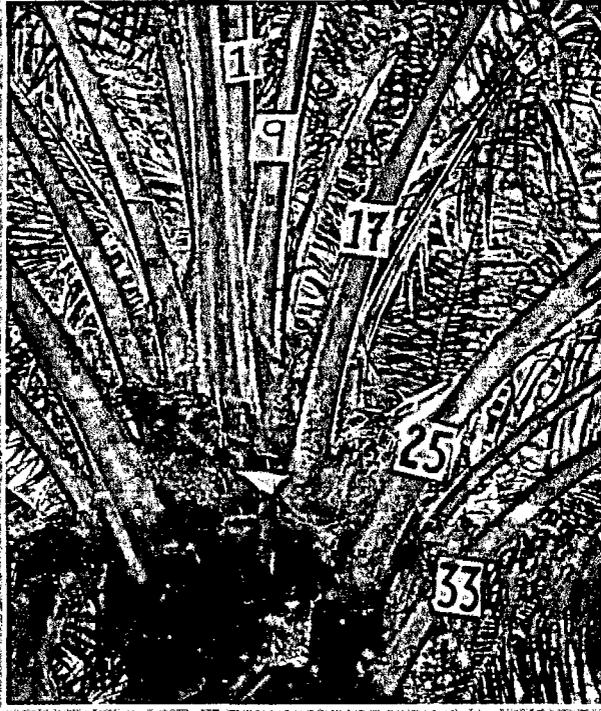
Selección de las plantas a ser evaluadas



Fotografía N° 09 y 10: Ejecución y Descripción de la Calicata

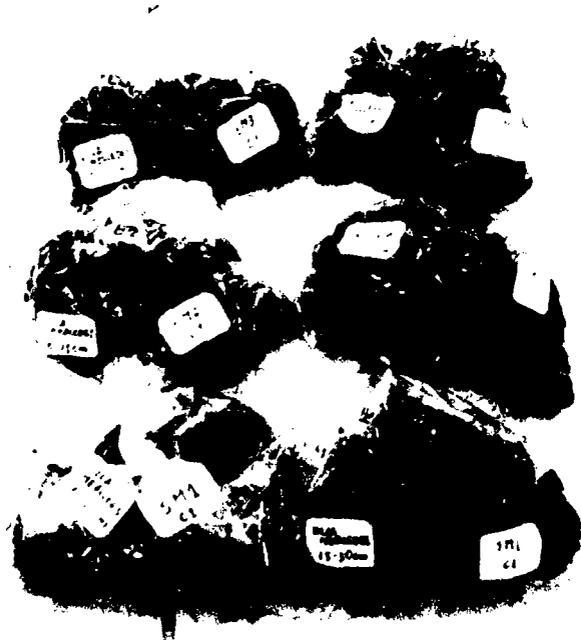


Evaluación de las características Físicas del suelo**Evaluación Colorimétrica****Evaluación Textural****Evaluación de la permeabilidad****Evaluación de la Temperatura**

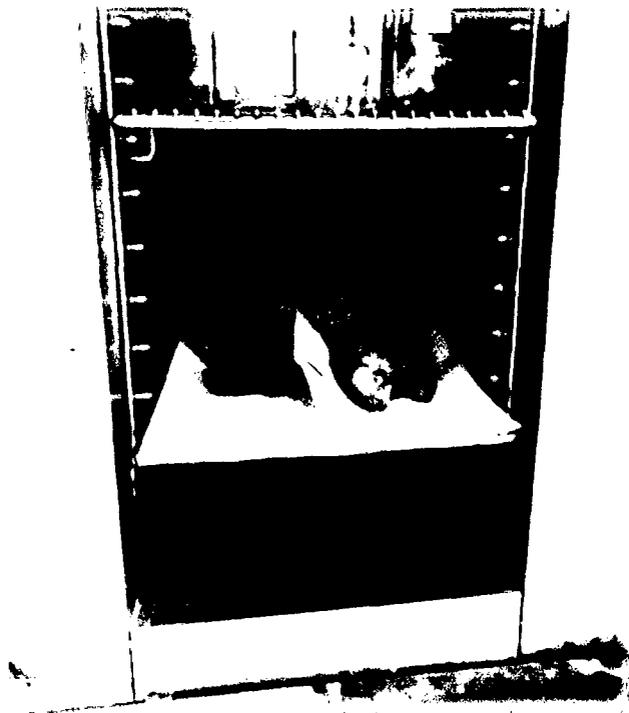
Fotografía N° 09 y 10: Estado Nutricional de la Palma de Aceite.**Identificación de la Hoja N° 17****Corte de la Hoja N° 17****Preparación de la muestra para el análisis**

9.2. Fase de Laboratorio

Muestras de suelo para determinar el contenido nutricional



Muestras de suelo en estufa (105°C) para obtener peso seco, para determinar densidad aparente.



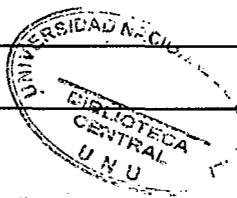
Secado de muestras de suelo a T° ambiente.



Moldeo de muestras de suelo para Análisis Nutricional



Tamizado de muestras de suelo para determinar %C



Análisis nutricional y textural de las muestras

