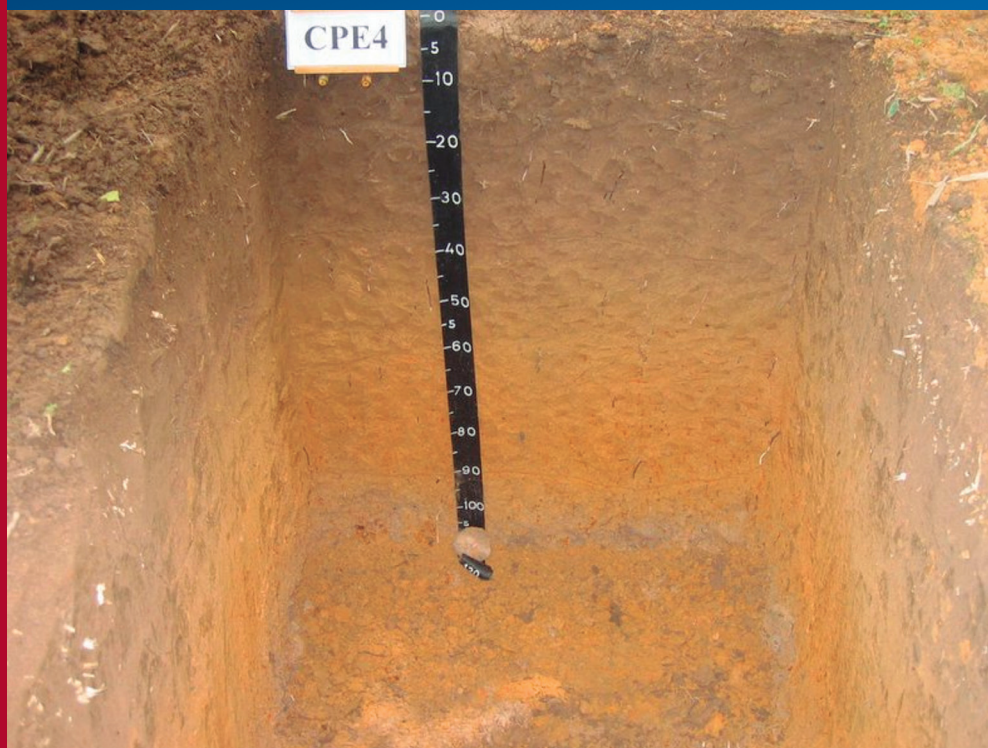


Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite
Guía para facilitadores



Caracterización y adecuación de suelos
para el establecimiento del cultivo
de la palma de aceite

Diego Luis Molina López
Jorge Stember Torres Aguas

Autores de esta guía

Diego Luis Molina López

Ingeniero Agrónomo egresado de la Universidad de Caldas. Laboró durante 22 años en el Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, como investigador en los programas de Forrajes Tropicales (5 años) y Suelos (17 años). Vinculado a Cenipalma desde octubre de 2006 como Asistente de Investigación del Proyecto Manejo Integrado de Suelos y Aguas en donde ha centrado su trabajo como investigador en el manejo del suelo y la nutrición del cultivo de la palma de aceite.

Jorge Stember Torres Aguas

Ingeniero Agrónomo de la Universidad del Tolima, con maestría en manejo de suelos y aguas de la Universidad Estatal de Colorado, Estados Unidos, y doctorado en manejo de aguas de la Universidad Estatal de Utah, Estados Unidos.

En sus más de 40 años de experiencia profesional e investigativa, se ha desempeñado como Profesor de Hidráulica, Aguas subterráneas y Física del suelo en la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, así como Investigador en el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar, Cenicaña. Desde 2010 coordina el Programa de Investigación en Agronomía en el Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma.

Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite
Guía para facilitadores

Caracterización y adecuación de suelos
para el establecimiento del cultivo
de la palma de aceite

Diego Luis Molina López
Jorge Stember Torres Aguas

Caracterización y adecuación de suelos para el establecimiento del cultivo de la palma de aceite

Publicación de la Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma, cofinanciada por Fedepalma y el Fondo de Fomento Palmero

Autores

Diego Luis Molina López
Jorge Stember Torres Aguas

Coordinador general

Jorge Alonso Beltrán Giraldo
División de Validación de Resultados de Investigación y Transferencia de Tecnología de Cenipalma

Coordinador didáctico

Vicente Zapata Sánchez

Coordinación editorial

Yolanda Moreno Muñoz
Esteban Mantilla

Fotografías

Colección de los autores

Diagramación

Fredy Johan Espitia Ballesteros

Impresión

Javegraf

Calle 98 # 70–91, piso 14.
Teléfono: (57-1) 313 8600
www.cenipalma.org
Bogotá, D.C. - Colombia

Impresión: diciembre de 2015

Reimpresión: julio de 2018

Catalogación en la publicación – Biblioteca Nacional de Colombia

Molina López, Diego Luis
Caracterización y adecuación de suelos para el establecimiento del cultivo de la palma de aceite / Diego Luis Molina López,
Jorge Stember Torres Aguas. -- Bogotá: Cenipalma: Fedepalma, 2015.
p. 96 – (Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite. Guía para facilitadores)

ISBN 978-958-8360-54-6

1. Palma africana - Cultivo 2. Manejo de suelos I. Torres Aguas, Jorge Stember II. Título III. Serie

CDD: 634.9745 ed. 23

CO-BoBN- a976437

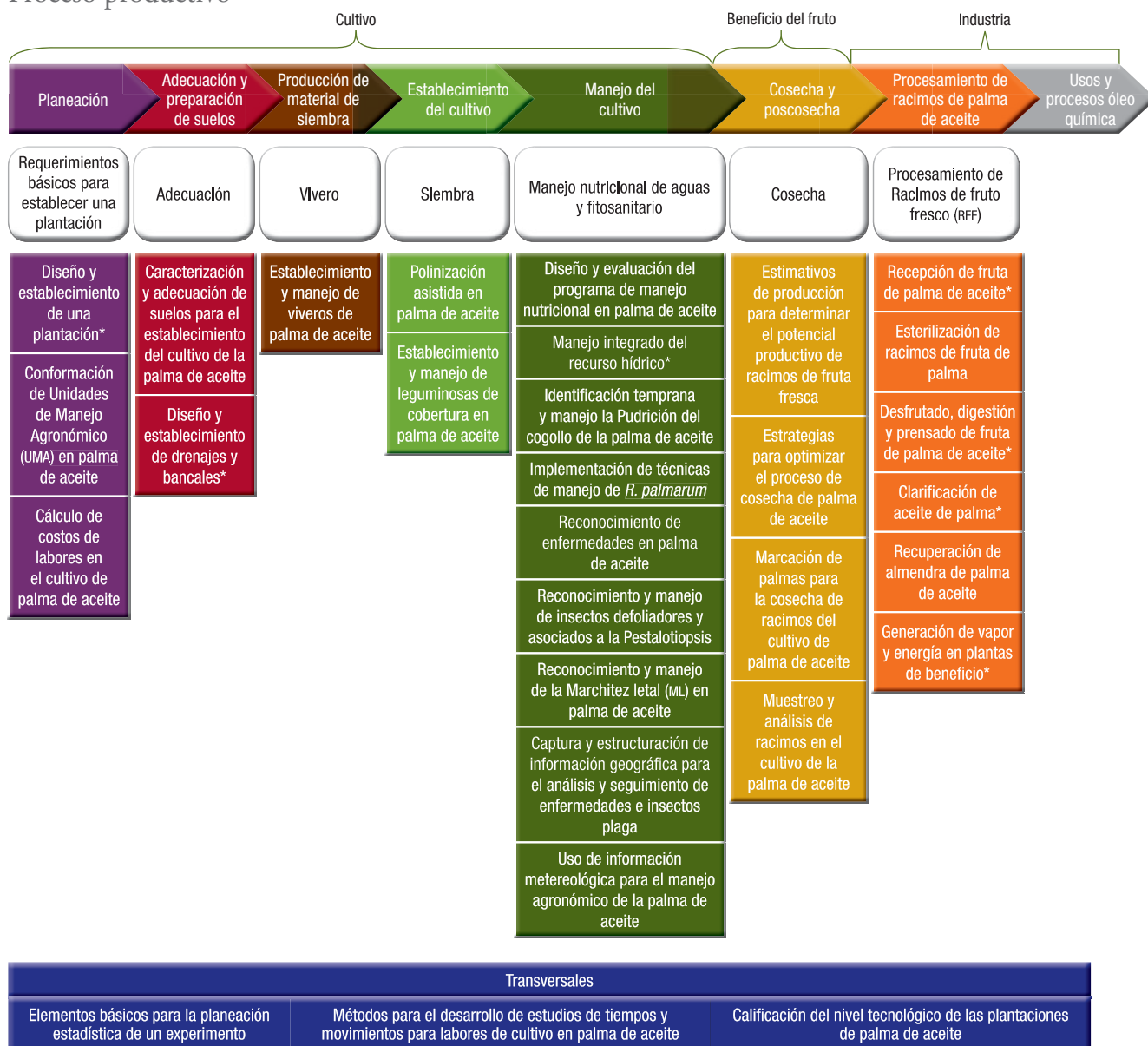
Títulos de la serie

- **Establecimiento y manejo de viveros de palma de aceite**
Dumar Flaminio Motta Valencia y Jorge Alonso Beltrán Giraldo.
- **Diseño y evaluación del programa de manejo nutricional en palma de aceite**
Nólver Atanasio Arias Arias y Jorge Alonso Beltrán Giraldo.
- **Reconocimiento de enfermedades en la palma de aceite**
Benjamín Pineda López y Gerardo Martínez López.
- **Identificación temprana y manejo de la Pudrición del cogollo de la palma de aceite**
Gabriel Andrés Torres Londoño, Greicy Andrea Sarria Villa y Gerardo Martínez López.
- **Implementación de técnicas de manejo de *Rhynchophorus palmarum***
Óscar Mauricio Moya Murillo, Rosa Cecilia Aldana de La Torre y Hamilton Gomes de Oliveira.
- **Captura y estructuración de información geográfica para el análisis y seguimiento de enfermedades e insectos plaga en las zonas palmeras de Colombia. Casos: Pudrición del cogollo (PC), *Rhynchophorus palmarum* y defoliadores**
Víctor Orlando Rincón Romero y Hernán Mauricio Romero Angulo.
- **Estimativos de producción para determinar el potencial productivo de racimos de fruta fresca**
Rodrigo Ruiz Romero, Dumar Flaminio Motta Valencia y Hernán Mauricio Romero Angulo.
- **Métodos para el desarrollo de estudios de tiempos y movimientos para labores de cultivo en palma de aceite**
Andrés Camilo Sánchez Puentes, Carlos Andrés Fontanilla Díaz y Mauricio Mosquera Montoya.
- **Esterilización de racimos de fruta de palma**
Edgar Eduardo Yáñez Angarita, Jesús Alberto García Núñez y Lina Pilar Martínez Valencia.
- **Elementos básicos para la planeación estadística de un experimento**
Eloína Mesa Fuquen.
- **Estrategias para optimizar el proceso de cosecha de palma de aceite**
Carlos Andrés Fontanilla Díaz, Andrés Camilo Sánchez Puentes y Mauricio Mosquera Montoya.
- **Polinización asistida en palma de aceite**
Ángela Sánchez Rodríguez, Édison Steve Daza, Rodrigo Ruiz Romero y Hernán Mauricio Romero Angulo.
- **Reconocimiento y manejo de insectos defoliadores y asociados a la Pestalotiopsis**
Rosa Cecilia Aldana de La Torre y Jorge Alberto Aldana de La Torre.
- **Reconocimiento y manejo integrado de la Marchitez letal (ML) en palma de aceite**
Mauricio Arango Uribe, Nubia Rairán Cortés, Gerardo Martínez López y Jorge Alonso Beltrán Giraldo.

-
- **Marcación de palmas para la cosecha de racimos del cultivo de la palma de aceite**
Carlos Andrés Fontanilla Díaz, Andrés Camilo Sánchez Puentes, Mauricio Mosquera Montoya, Wilmar Alarcón, Emiro Leal, Rafael Pertuz, Adalberto Mendez, Blanca Liliana Romero y Óscar Mario Bastidas.
 - **Muestreo y análisis de racimos en el cultivo de la palma de aceite**
Fausto Prada Chaparro y Hernán Mauricio Romero Angulo.
 - **Calificación del nivel de tecnológico de las plantaciones de palma de aceite**
Pedro Nel Franco Bautista, Nólver Atanasio Arias Arias y Jorge Alonso Beltrán Giraldo.
 - **Conformación de Unidades de Manejo Agronómico (UMA) en palma de aceite**
Diego Luis Molina López, José Álvaro Cristancho Rodríguez y Pedro Nel Franco Bautista.
 - **Uso de información meteorológica para el manejo agronómico de la palma de aceite**
Hernando Moreno Correcha, Angie Molina Villarreal y Víctor Rincón Romero.
 - **Caracterización y adecuación de suelos para el establecimiento del cultivo de la palma de aceite**
Diego Luis Molina López y Jorge Stember Torres Aguas.
 - **Establecimiento y manejo de leguminosas de cobertura en palma de aceite**
Álvaro Hernán Rincón Numpaque, Tulia Esperanza Delgado Revelo y Diego Luis Molina López.

Guías metodológicas sobre tecnologías de producción en palma de aceite

Proceso productivo



* Guías que se encuentran en proceso de realización por parte de los investigadores-autores.

La figura anterior representa el conjunto de publicaciones que abarcan todo el proceso productivo (cultivo y beneficio del fruto) de palma de aceite. Las guías fueron agrupadas de acuerdo con la fase del proceso a la que pertenecen e identificadas por colores de la siguiente manera:

Planeación (Morado): incluye las guías que abordan el tema de la planeación, además de los requerimientos básicos para establecer una plantación: “Diseño y establecimiento de una plantación en palma de aceite”, “Diseño y manejo de las Unidades de Manejo Agronómico (UMA)” y “Evaluación de costos de labores en el cultivo de la palma de aceite”.

Adecuación y preparación de suelos (Vinotinto): conforman esta fase las guías que abordan las temáticas relacionadas con el manejo integral del suelo para el establecimiento del cultivo. El proceso de manejo se inicia con el conocimiento (estudio) del estado actual del suelo y la identificación de los requerimientos que el cultivo de palma de aceite demanda con respecto a la calidad del mismo, reseñado en la guía “Caracterización del suelo para el establecimiento del cultivo de palma de aceite”. El proceso continúa con la exploración de alternativas para su adecuación, como lo propuesto en la guía “Diseño y establecimiento de bancales”, y finaliza con la planificación e implementación en el campo de la alternativa seleccionada.

Producción de materiales para siembra (Café): agrupa las guías relacionadas con la fase de preparación de los materiales para la siembra. Hasta ahora contamos con la guía “Establecimiento y manejo de viveros de palma de aceite”.

Establecimiento del cultivo (Verde claro): reúne las guías que abordan los temas para el establecimiento del cultivo, factores determinantes para su producción como: “Establecimiento y manejo de las coberturas”, así como “Aislamiento y polinización de inflorescencias”. Para esta fase también se incluyen las actividades que corresponden a las labores culturales, como limpieza de platos, interlíneas, poda y mantenimiento de la infraestructura.

Manejo del cultivo (Verde oscuro): pertenecen a esta fase las guías que abordan el manejo del cultivo desde diferentes áreas –nutricional, aguas y fitosanitario– en las que se ubican las siguientes: Detección y manejo de la Pudrición del cogollo (PC), “Reconocimiento de otras enfermedades”, “Manejo del *Rhynchophorus palmarum*”, “Reconocimiento y manejo de insectos defoliadoras y asociados a la Pestalotiopsis” y “Detección y manejo de la Marchitez letal (ML)”. También se incluyen las guías que representan herramientas de apoyo para la toma de decisiones y/o fortalecimiento del cultivo: “Sistemas de información geográfica para el análisis y seguimiento de enfermedades e insectos plaga” y “Diseño y evaluación del manejo nutricional”.

Cosecha y poscosecha (Ocre): agrupa las guías que ofrecen herramientas para optimizar, medir y estimar la producción de Racimos de fruto fresco (RFF) y/o la calidad del aceite, tales como: “Estimativos de producción”, “Estrategias para optimizar el proceso de cosecha de la palma de aceite”, “Marcación de palmas para la cosecha de palma de aceite” y “Determinación del potencial de aceite en palma mediante el análisis de racimo”.

Procesamiento de racimos de palma de aceite (Naranja): comprende las guías relacionadas con el procesamiento para la extracción del aceite de palma y sus subproductos. De acuerdo con el orden del proceso, se establecieron las siguientes: “Recepción de racimos de palma de aceite”, “Esterilización de racimos”, “Desfrutado, digestión y prensado de frutos de palma de aceite”, “Clarificación de aceite de palma”, “Recuperación de almendra de palma de aceite” y “Generación de vapor y energía en las plantas de beneficio”.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Fondo de Fomento Palmero, administrado por Fedepalma, por la financiación de las actividades de investigación que permitieron la producción de este documento. A las plantaciones de las cuatro zonas palmeras por su colaboración constante en la investigación y sus aportes para la elaboración y proceso de validación. De igual manera, a Vicente Zapata Sánchez por la asesoría brindada en el desarrollo de esta guía.

Contenido



Presentación	13
Introducción	15
Modelo de aprendizaje	17
Usos y adaptaciones.....	18
Exploración inicial de conocimientos	19
Retroinformación para la exploración de conocimientos.....	20
Exploración de expectativas	21
Objetivos y estructura de aprendizaje	23
Unidad Temática 1. Requerimientos de suelo para el cultivo de la palma de aceite	25
Estructura de la unidad	27
Explicación de la estructura	27
Preguntas orientadoras	27
Objetivos.....	28
Introducción	28
1.1 Los climas para la palma de aceite.....	28
1.2 Los suelos para la palma de aceite	29
1.3. Parámetros de suelos.....	29
1.4 Ejercicio 1. Cálculos de pesos con base en parámetros edáficos y foliares.....	31
Hoja de trabajo	32
Retroinformación para el Ejercicio 1	33
1.5 Cálculos secundarios	33
1.6 El análisis de suelos.....	33
1.7 Interpretación de los resultados de laboratorio.....	34
1.8 Factores de conversión.....	35

1.9. Ejercicio 2	36
Hoja de trabajo	37
Retroinformación para el Ejercicio 2	39
Referencias	39
Unidad Temática 2. Composición general del suelo	41
Estructura de la unidad	43
Explicación de la estructura	43
Preguntas orientadoras	44
Objetivos.....	44
Introducción	44
2.1. Composición del suelo	44
2.2 Propiedades físicas del suelo.....	46
2.3. Ejercicio 1. Análisis del suelo y sus propiedades físicas	49
2.4 Propiedades químicas del suelo.....	50
2.5 Ejercicio 2. Prueba para el análisis de las propiedades químicas de los suelos.....	51
2.6 Estudio de suelos para la siembra de la palma de aceite.....	52
2.7 Ejercicio 3. Descripción de los perfiles de suelo	53
Anexo técnico 1.	57
Ejercicio 4. Medición de la Infiltración del agua en el suelo con el infiltrómetro de doble anillo.....	60
Anexo técnico 2.....	64
Ejercicio 5. Toma de muestras para determinar las propiedades químicas del suelo.....	65
Referencias	69
Unidad Temática 3.	
Adecuación del suelo para el establecimiento del cultivo	71
Estructura de la unidad	73
Explicación de la estructura	73
Preguntas orientadoras	74
Objetivos.....	74
Introducción	74
3.1 Los suelos dedicados al cultivo de la palma en Colombia.....	75

3.2 Efecto de los usos previos del suelo para el nuevo cultivo.....	75
3.3 Adecuación física de suelos para el establecimiento del cultivo.....	75
Ejercicio 1. Hipótesis sobre las condiciones físicas y químicas de suelos de acuerdo a su uso previo.....	77
Hoja de trabajo	78
Retroinformación para el Ejercicio 1	79
3.4 Adecuación química del suelo.....	79
Ejercicio 2. Interpretación de la PRE y cálculo de los requerimientos de enmiendas	84
Referencias	85
Anexos.	89
Anexo 1. Formato para solicitar análisis de suelos en el laboratorio de Cenipalma.....	91
Anexo 2. Formato para identificar muestras para análisis de laboratorio en Cenipalma.....	92
Anexo 3. Exploración final de conocimientos	93
Anexo 4. Algunos implementos agrícolas para la labranza y adecuación del suelo	94

Presentación

La implementación de las guías metodológicas como herramientas de apoyo a la transferencia y la extensión han contribuido satisfactoriamente a la adopción de diferentes tecnologías desarrolladas por Cenipalma. Por tal razón, se continuó con la elaboración y publicación de nuevas guías para cubrir cada una de las fases y/o componentes de la cadena productiva, así como para atender la demanda de soluciones tecnológicas en las fases de establecimiento y desarrollo del cultivo, manejo nutricional y fitosanitario, producción y extracción de aceite.

Continuar con el trabajo colaborativo entre la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, Fedepalma, y la Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma, representa la firme convicción y certeza del gran aporte de este esfuerzo conjunto para el mejoramiento de la producción de los aceites y derivados que surgen de este importante cultivo en el país.

Con base en las lecciones aprendidas, un segundo grupo de investigadores de Cenipalma ha adoptado y mejorado un modelo para compartir experiencias y conocimientos sobre temas claves que cubren los procesos productivos de plantación, planta de beneficio y demás aspectos de interés en poscosecha y comercialización. Estos materiales constituyen el corazón de un currículo básico sobre el manejo del cultivo que son de gran utilidad en el proceso de actualización de los palmicultores y técnicos que laboran en las empresas palmeras, así como en la formación de facilitadores, técnicos y profesionales en los niveles medio y superior.

Las guías, dirigidas a facilitadores en diferentes ámbitos de la transferencia tecnológica y de la formación, han sido diseñadas siguiendo una metodología centrada en el desarrollo de las competencias que requieren los propietarios de las plantaciones, técnicos y trabajadores de campo y plantas de beneficio, para responder en forma oportuna a los retos que plantea la agroindustria de la palma de aceite.

La estructura didáctica de las guías orienta a los facilitadores hacia el desarrollo de una capacitación centrada en el adelanto de las capacidades requeridas para el manejo de cada una de las tecnologías. La inclusión de elementos didácticos, como las estructuras de aprendizaje, las preguntas orientadoras y una variedad de ejercicios y prácticas de campo diseñadas en detalle, además de una serie de anexos didácticos y técnicos, permiten que el usuario de las guías tenga una plataforma metodológica bastante elaborada, que no excluye las innovaciones creativas por parte de quienes dirijan la transferencia o la capacitación.

Cenipalma presenta, con particular orgullo, a la comunidad palmera esta segunda serie de materiales didácticos y a todos aquellos técnicos, profesionales y docentes interesados en actualizar conocimientos para la formación de los futuros responsables del escalamiento de este cultivo tan promisorio en la economía nacional.

Quiero expresar un sincero agradecimiento al ingeniero Jorge Alonso Beltrán Giraldo, quien tomó sobre sus hombros la responsabilidad de coordinar la producción de las guías, desde la definición de los temas más relevantes sobre los cuales trabajar, hasta la publicación, pasando por su revisión y validación en campo. Igualmente, un inmenso agradecimiento al Dr. Vicente Zapata Sánchez, quien nuevamente participó y aportó su amplia experiencia mediante el acompañamiento personalizado a cada uno de los investigadores para que realizaran las guías con un enfoque didáctico dirigido a la apropiación del conocimiento. Finalmente, mi gratitud a los investigadores que invirtieron incontables horas de reflexión y elaboración creativa para la conformación final de productos que contribuyen a la construcción del capital intelectual del gremio y nos llenan de orgullo institucional.

JOSÉ IGNACIO SANZ SCOVINO, *Ph.D.*

Director General

Cenipalma

Introducción

La presente guía de aprendizaje busca que los técnicos de las plantaciones, instructores, capacitadores de Cenipalma y asistentes técnicos de las Unidades de Asistencia y Auditoría Técnica, Ambiental y Social, UAATAS, adquieran competencias para conocer las condiciones de suelo que requiere el cultivo de la palma para obtener altos rendimientos y aplicar la mejor alternativa para adecuarlos antes de establecer el nuevo cultivo de la palma, de acuerdo a sus requerimientos.

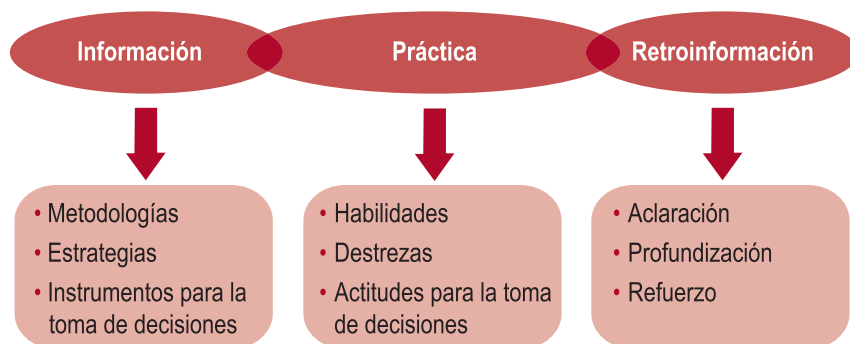
Esta guía está dividida en tres unidades de aprendizaje, cada una de las cuales refleja una competencia que el usuario de la tecnología debe desarrollar. Las competencias son las siguientes:

- Conoce los requerimientos de suelo para el cultivo de la palma.
- Reconoce las propiedades físicas y químicas del suelo, utiliza equipos y metodologías apropiadas para la medición de estas propiedades.
- Interpreta acertadamente los resultados de los análisis químicos y físicos de suelos.
- Reconoce los efectos del uso previo del suelo y el impacto de los implementos de labranza sobre el mismo.
- Toma decisiones sobre alternativas de adecuación del suelo para establecer el nuevo cultivo de la palma, de acuerdo con los resultados de las mediciones y pruebas que realiza.

Los temas que contienen las unidades de aprendizaje fueron priorizados por palmiticultores, facilitadores, investigadores y técnicos de plantación, quienes manifestaron la existencia de vacíos en conocimientos, necesarios de compensar, para alcanzar una mayor competitividad en el cultivo de la palma.

La guía incluye prácticas que facilitan el aprendizaje (por ejemplo, observación, analogías, discusiones, experimentación) y destaca la importancia de recuperar el conocimiento previo de los participantes en la capacitación para construir con ellos un conocimiento mejorado, fortaleciendo las competencias necesarias para implementar prácticas de manejo del suelo que respondan a las necesidades del cultivo de la palma y sean amigables con el ambiente.

Modelo de aprendizaje



La serie de guías para la formación de facilitadores sobre Tecnologías para la Agroindustria de la Palma de Aceite, está basada en un modelo didáctico fundamentado en el aprendizaje a través de la práctica. Este modelo propone a los usuarios inmediatos de estas guías –capacitadores y multiplicadores– un esquema de capacitación en el que los insumos de información resultantes de la investigación en campo sirven de materia prima para el desarrollo de habilidades, destrezas y actitudes requeridas por los usuarios finales para la toma de decisiones acertadas y relacionadas con la agroindustria de la palma de aceite.

Al producir estas guías, Cenipalma se interesa por ayudar a sus usuarios a poner en práctica un enfoque que no solo se ocupe de “comunicar bien”, sino también de crear las condiciones y usar las herramientas necesarias para que los beneficiarios de la capacitación o de las actividades de asistencia técnica tengan la oportunidad de ejercitarse en la construcción del conocimiento, a partir de sus propias experiencias y saberes.

Estas guías están dirigidas a todos aquellos que tienen responsabilidades como capacitadores, maestros, tutores y facilitadores interesados en el aprendizaje de retroinformación de sus alumnos, mediante la elabo-

ración y utilización de materiales que tengan el enfoque de la gestión de conocimientos.

Los usuarios de estas guías observarán que sus componentes metodológicos se diferencian de otros materiales de divulgación de tecnologías. Cada una de las secciones en que se dividen las guías contiene elementos de diseño que le facilitan al capacitador ejercer su labor de facilitador del aprendizaje.

Las guías están orientadas por un conjunto de objetivos que le sirven al instructor y al participante para dirigir los esfuerzos de aprendizaje. Este se lleva a cabo a través de ejercicios en el campo o en otros escenarios reales, en los que se practican los procesos de análisis y toma de decisiones, usando para ello recorridos por plantaciones y plantas de beneficio, simulaciones, dramatizaciones y aplicación de diferentes instrumentos de recolección y análisis de información.

Otros componentes incluyen las secciones de información de retorno, en las cuales los participantes en la capacitación, junto con los instructores, tienen la oportunidad de revisar las prácticas realizadas y profundizar en los aspectos que deben ser reforzados. La información de retorno constituye la parte final de cada una de las secciones de la guía y es el espacio preferencial

para que el instructor y los participantes lleven a cabo la síntesis conceptual y metodológica de cada aspecto estudiado.

En resumen, el modelo consta de tres elementos:

1. La información técnica y estratégica, producto de la investigación realizada por Cenipalma y sus colaboradores, constituye el contenido tecnológico necesario para la toma de decisiones en el manejo de tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite.
2. La práctica, que toma la forma de ejercicios en el sitio de entrenamiento y de actividades de campo y que está dirigida al desarrollo de habilidades, destrezas y actitudes para la toma de decisiones.
3. La información de retorno, que es un tipo de evaluación formativa que asegura el aprendizaje y la aplicación adecuada de los principios subyacentes en la teoría que se ofrece.

Las prácticas son el eje central del aprendizaje y simulan la realidad que viven quienes utilizan estos instrumentos presentados en cada guía. Mediante los ejercicios, los participantes en la capacitación experimentan el uso de los instrumentos, las dificultades que a nivel local surgen de su aplicación, y las ventajas y oportunidades que representa su introducción en los distintos ambientes de toma de decisiones.

Los ejercicios que se incluyen en las guías fueron extractados de las experiencias encontradas en cada zona palmera por los investigadores de Cenipalma. Sin embargo, los instructores de las regiones podrán extraer de sus propias experiencias de campo excelentes ejemplos y casos con los cuales pueden reconstruir las prácticas y adaptarlas al contexto de su localidad. Cada instructor tiene en sus manos, guías que son instrumentos de trabajo flexibles, que pueden adaptarse a las necesidades de distintas audiencias en diferentes escenarios.

Usos y adaptaciones

Es importante que los usuarios (instructores y multiplicadores) de estas guías conozcan el papel funcional que brinda su estructura didáctica, para que la utilicen en beneficio de los usuarios finales. Son ellos quienes van a tomar las decisiones de introducir los instrumentos presentados, en los procesos de la agroindustria de la palma de aceite en cada región palmera.

Por ello, se hace énfasis en el empleo de los diagramas de flujo por parte de los instructores, a quienes les sirven para presentar las distintas secciones; las preguntas orientadoras, que les permite establecer un diálogo y promover la motivación de la audiencia antes de profundizar en la teoría; los originales para las transparencias, los cuales pueden ajustarse a diferentes necesidades, introduciendo ajustes en su presentación; los anexos citados en el texto, que ayudan a profundizar aspectos tratados brevemente dentro de cada sección; los ejercicios y las prácticas sugeridos, los cuales, como se dijo antes, pueden ser adaptados o reemplazados por prácticas sobre problemas relevantes de la audiencia local; las secciones de información de retorno, en las cuales también es posible incluir datos locales, regionales o nacionales que hagan más relevante la concreción de los temas, y los anexos didácticos (postest, evaluación del instructor, del evento y del material, entre otros), que ayudan a complementar las actividades de capacitación.

Finalmente, se quiere dejar una idea central con respecto al modelo de capacitación que siguen las guías: si lo más importante en el aprendizaje es la práctica, la capacitación debe disponer del tiempo necesario para que quienes acuden a ella tengan la oportunidad de desarrollar las habilidades, destrezas y actitudes que reflejen los objetivos del aprendizaje. Solo así es posible esperar que la capacitación tenga el impacto esperado en quienes toman las decisiones.

Exploración inicial de conocimientos

Orientaciones para el facilitador

Antes de comenzar con el proceso de capacitación, el facilitador, una vez hecha la presentación personal de cada uno de los asistentes al evento, les manifestará que formulará una serie de preguntas, enfatizando que el propósito de ellas no es medir el nivel de conocimiento de los participantes en la capacitación. Aclarará que las respuestas obtenidas constituyen una ayuda para que el facilitador conozca qué experiencias tienen los participantes sobre los temas que serán desarrollados y lo orientarán sobre los temas que deberán ser tratados con mayor profundidad. Las preguntas pueden manejarse de diversas maneras: en forma verbal, enunciándolas para que los participantes respondan en forma voluntaria, o trabajándolas en grupos de discusión con un representante de cada grupo que exponga los aportes de sus compañeros, u otra forma creativa que el facilitador quiera emplear. Una vez discutidas las respuestas al interior del grupo que se está capacitando, los participantes podrán conocer el grado de conocimiento que poseen sobre el tema de manejo de suelos para establecer el cultivo.

Preguntas

Se dará un tiempo prudencial para que los asistentes respondan las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles de las propiedades físicas del suelo considera usted que deberían ser tenidas en cuenta para establecer el nuevo cultivo de la palma?
2. ¿Cuáles de las propiedades químicas del suelo considera usted que deberían ser tenidas en cuenta para establecer el nuevo cultivo de la palma?
3. ¿Qué procedimiento emplearía para el muestreo de suelos dirigido a conocer la disponibilidad de nutrientes para el cultivo de la palma?
4. ¿Qué propiedades físicas del suelo ha determinado y con qué equipos o metodologías?
5. ¿Qué factores cree usted pueden afectar la calidad de la muestra de suelos?
6. ¿Qué aspectos cree usted se deben observar al momento de hacer un recorrido de campo para agrupar suelos similares?
7. ¿Qué utilidad le encontraría usted al hecho de conocer los usos previos del suelo donde se establecerá el nuevo cultivo de la palma?
8. ¿Cuáles son para usted los principales limitantes químicos de los suelos dedicados al cultivo de la palma de aceite en Colombia?
9. ¿Qué entiende por adecuación del terreno?
10. ¿Qué sistema de labranza cree usted debe implementar para establecer el cultivo de la palma?, ¿por qué?
11. Cuando obtiene resultados de laboratorio, ¿qué valores de referencia utiliza para su comparación?
12. ¿En cuáles pruebas se apoya usted para seleccionar las enmiendas?, ¿por qué?
13. ¿Cuál época del año considera que es la más apropiada para realizar labores de adecuación de suelos?, ¿por qué?
14. ¿Qué conocimientos nuevos sobre aptitud de suelos para el cultivo de la palma ha adquirido cuando intercambia saberes con el personal de campo?

Retroinformación para la exploración de conocimientos

Instrucciones para el facilitador:

Debe compartir con los participantes las respuestas que él propone a las preguntas, para darles la oportunidad de compararlas con las que ellos han elaborado.

Una de las formas de hacer esta revisión es pedir a un voluntario la respuesta y preguntar al auditorio si alguien quiere complementar la respuesta o si alguien no está de acuerdo. De este modo, el facilitador genera confianza a los participantes y los invita a participar.

Respuestas

Pregunta 1: ¿Cuáles de las propiedades físicas del suelo considera usted que deberían ser tenidas en cuenta para establecer el nuevo cultivo de la palma?

Respuesta: aquellas que se relacionan con el movimiento del agua a través del perfil y con la profundidad para un buen desarrollo radicular como: infiltración, estructura, densidad aparente, conductividad hidráulica, resistencia a la penetración, textura.

Pregunta 2: ¿Cuáles de las propiedades químicas del suelo considera usted que deberían ser tenidas en cuenta para establecer el nuevo cultivo de la palma?

Respuesta: las que se relacionan con la fertilidad del suelo como: pH, Capacidad de Intercambio Catiónico -CIC-, Materia orgánica -M.O-, contenidos de nutrimentos, tales como: nitrógeno -N-, fósforo -P-, potasio -K-, entre otras, así como la relación entre los nutrimentos.

Pregunta 3: ¿Qué procedimiento emplearía para el muestreo de suelos dirigido a conocer la disponibilidad de nutrimentos para el cultivo de la palma?

Respuesta:

- Relaciono cambios marcados en la topografía y el paisaje con cambios en el tipo de suelos
- Defino los horizontes a muestrear
- Defino cuántas submuestras debo recolectar por cada clase de suelo identificado.

Pregunta 4: ¿Qué propiedades físicas del suelo ha determinado y con qué equipos o metodologías?

Respuesta: densidad aparente, con anillos de volumen conocido; textura, por el método del tacto; profundidad del suelo y espesor de los horizontes con barrenos, palas, sacabocados o calicatas; color, utilizando la tabla de colores de Munsell; infiltración, con cilindros infiltrómetros.

Pregunta 5: ¿Qué factores cree usted que pueden afectar la calidad de la muestra de suelos?

Respuesta: mezclar suelos de horizontes diferentes; seleccionar los sitios de muestreo sin un reconocimiento previo, así sea exploratorio, de las distintas clases de suelos existentes; fumar y comer durante el muestreo de química de suelos, excesos de humedad al momento del muestreo para física de suelos; muestreo en sitios contaminados o disturbados.

Pregunta 6: ¿Qué aspectos cree usted que se deben observar al momento de hacer un recorrido de campo para agrupar suelos similares?

Respuesta: cambios de color, textura, profundidad de los horizontes, cambios en la vegetación, presencia de pedregosidad en la superficie del terreno o dentro del perfil, presencia de zonas bajas y cóncavas donde se acumula agua libre.

Pregunta 7: ¿Qué utilidad le encontraría usted al hecho de conocer los usos previos del suelo donde se establecerá el nuevo cultivo de la palma?

Respuesta: permite prever el estado actual de las condiciones físicas y químicas del suelo.

Pregunta 8: ¿Cuáles son para usted los principales limitantes químicos de los suelos dedicados al cultivo de la palma de aceite en Colombia?

Respuesta: la acidez del suelo, la alta saturación de Al y los bajos contenidos de nutrimentos.

Pregunta 9: ¿Qué entiende por adecuación del terreno?

Respuesta: son las labores previas a la siembra cuyo fin es establecer un medio ideal para el buen desarrollo del cultivo. Estas labores pueden incluir el laboreo físico y tratamiento químico del suelo.

Pregunta 10: ¿Qué sistema de labranza cree usted que se debe implementar para establecer el cultivo de la palma?, ¿por qué?

Respuesta: estará de acuerdo con las limitaciones físicas que encuentre: labranza vertical y profunda para corregir problemas en profundidad o labranza superficial para corregir problemas superficiales.

Pregunta 11: Cuando obtiene resultados de laboratorio, ¿qué valores de referencia utiliza para su comparación?

Respuesta: los valores recomendados por Cenipalma, entidad de investigación del sector palmero en Colombia.

Pregunta 12. ¿En cuáles pruebas se apoya usted para seleccionar las enmiendas?, ¿por qué?

Respuesta: en las Pruebas de Reactividad de las Enmiendas -PRE- que ayudan a identificar las enmiendas que son más efectivas para un suelo específico al cambiar la acidez del suelo y otras variables químicas a corto plazo.

Pregunta 13: ¿Cuál época del año considera sea la más apropiada para realizar labores de adecuación de suelos?, ¿por qué?

Respuesta: las épocas en las que el contenido de humedad del suelo es adecuado para que los implementos roturen el suelo. No realizar labores de preparación y cultivo en periodos húmedos, cuando el contenido de humedad del suelo sea muy alto.

Pregunta 14: ¿Qué conocimientos nuevos sobre la aptitud de los suelos para el cultivo de la palma ha adquirido cuando intercambia ideas con el personal de campo?

Respuesta: las respuestas pueden variar entre participantes. Sin embargo, algunas de las respuestas pueden incluir el establecimiento de coberturas, comportamiento de los cultivos previos, frecuencia de inundaciones, problemas de drenaje superficial e interno, problemas de salinidad, sodicidad.

Exploración de expectativas

Orientaciones para el facilitador

Antes de iniciar la capacitación, el facilitador invita a los participantes para que se presenten y aprovechen este primer contacto para compartir sus expectativas acerca de la capacitación. Esta identificación es muy importante para despejar expectativas que no se podrán satisfacer en la capacitación y luego, presentar los objetivos. Algunas de las preguntas que ayudan a esclarecer las expectativas son las siguientes:

- ¿Para qué estamos reunidos en este día?
- ¿Qué esperan lograr de este evento?
- ¿Qué información previa han recibido acerca de esta capacitación?

Posteriormente, el facilitador plasmará las respuestas en un papelógrafo y aprovechará para exponer los objetivos que persigue con la capacitación.

Modo de usar la Guía

A continuación, le presentamos algunas recomendaciones útiles para sacar el mayor provecho posible de este material:

- Revise la totalidad de la Guía antes de iniciar la capacitación. Observe la forma en que está estructurada cada una de las Unidades de aprendizaje.
- Conduzca en un ambiente informal y relajado las actividades de presentación de los participantes, exploración de expectativas y conocimientos, presentación de los objetivos y de la estructura general de la Guía, aspectos todos que contribuyen a la preparación del participante para el aprendizaje.
- La estructura de aprendizaje de toda la Guía es una síntesis que se debe compartir con los participantes, para que tengan una visión de la totalidad del material y de sus componentes. Al inicio de cada una de las Unidades de aprendizaje hay estructuras más específicas que introducen cada uno de los componentes de la capacitación.

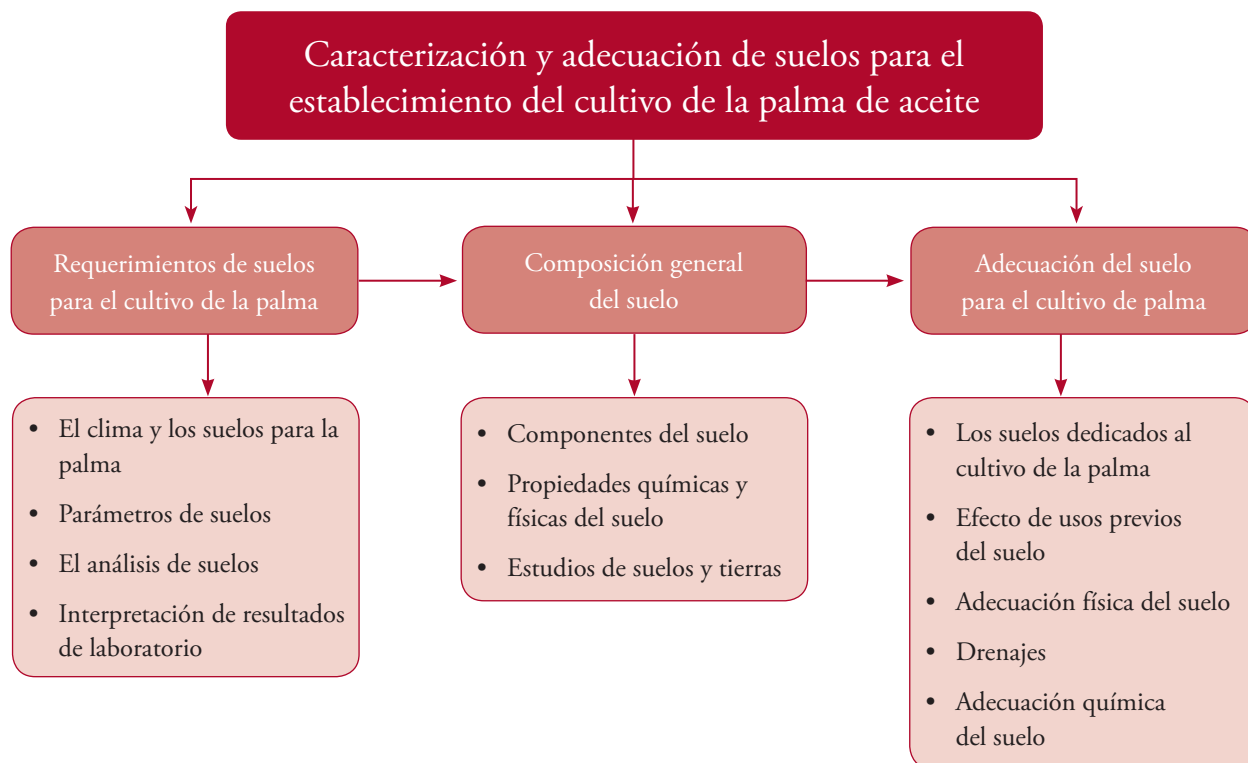
-
- Las preguntas que aparecen al inicio de la Guía y de cada unidad de aprendizaje, están dirigidas a introducir los temas de una manera informal y a explorar el conocimiento previo o experiencias que tengan los participantes. Estas preguntas generan un diálogo que permite al facilitador entrar en el tema y a los participantes interesarse en él.
 - Es importante que el facilitador comparta con los participantes los objetivos específicos de cada unidad de aprendizaje, relacionándolos con la respectiva competencia, objeto de dicha unidad.
 - Asegúrese de contar con todos los recursos antes de iniciar la capacitación. El modelo bajo el cual se desarrolla la Guía refleja un énfasis didáctico centrado en la práctica. Haga un listado de todos los recursos que usted y los participantes en la capacitación requieren, especialmente cuando se trata de realizar ejercicios y prácticas de campo, laboratorio, planta y aula. Haga las provisiones necesarias en términos de espacios, lugares y personas que es necesario preparar con tiempo.
 - Los ejercicios y prácticas tienen una estructura particular que coloca su ejecución en manos de los participantes. Usted como facilitador del proceso de aprendizaje podrá hacer ajustes contextualizándolos a la realidad de las plantaciones, laboratorios, plantas de procesamiento u otros sitios en los que trabajan los participantes.
 - La retroinformación de los ejercicios es la oportunidad que tiene el facilitador de complementar los conocimientos de los participantes o formular recomendaciones acerca de la puesta en práctica de habilidades, destrezas y actitudes que forman parte de la competencia que se está desarrollando. Al finalizar cada ejercicio o práctica, este se revisa en forma participativa para destacar aciertos y fallas en la comprensión o en el ejercicio de la competencia a desarrollar.
 - Al finalizar las unidades de aprendizaje hay una sección que contiene anexos de tipo didáctico (prueba final de conocimientos, formato de evaluación de la capacitación, formato de evaluación del facilitador, etc.) y otros que complementan la información de la Guía, llamados anexos técnicos. Este material forma parte esencial de los instrumentos para facilitar el aprendizaje y debe usarse en el desarrollo y cierre de la capacitación.

Objetivos y estructura de aprendizaje

Objetivos de aprendizaje

Al final de la capacitación los usuarios de esta guía estarán preparados para:

- Caracterizar las condiciones químicas y físicas del suelo donde establecerá el nuevo cultivo de palma.
- Interpretar de manera correcta los resultados de análisis químicos y físicos del suelo recibidos del laboratorio.
- Tomar decisiones sobre la aptitud del terreno donde se piensa establecer el nuevo cultivo de palma.
- Prever las consecuencias para el nuevo cultivo de palma originadas por los usos previos del suelo donde será establecido.
- Describir los beneficios de establecer el nuevo cultivo de palma sobre un suelo sin limitaciones químicas y físicas.
- Describir los efectos sobre el suelo de los diferentes sistemas de adecuación.
- Seleccionar alternativas de adecuación de suelos acordes a las necesidades del cultivo y el ambiente.



Explicación de la estructura

La presente estructura muestra las tres unidades de aprendizaje que ayudarán a los técnicos de las plantaciones y al personal de campo, a implementar el manejo adecuado y sostenible del recurso suelo al momento de establecer el nuevo cultivo de palma. El proceso de manejo se inicia con el conocimiento de los requerimientos de la palma en relación con la calidad del suelo, continúa con la caracterización del estado actual del suelo, donde se establecerá el cultivo, en cuanto a sus

condiciones físicas y químicas y, finaliza con la exploración de alternativas de adecuación. En el esquema se observa que para avanzar hacia la unidad de aprendizaje siguiente, es necesario tener el dominio de la temática de la unidad anterior.

Dentro de cada una de las unidades de aprendizaje se mencionan los temas generales que la integran y que se desarrollarán en la parte teórica y serán reforzados con prácticas de campo.



Unidad Temática 1. Requerimientos de suelo para el cultivo de la palma de aceite

Estructura de la unidad	27
Explicación de la estructura	27
Preguntas orientadoras	27
Objetivos.....	28
Introducción	28
1.1 Los climas para la palma de aceite.....	28
1.2 Los suelos para la palma de aceite	29
1.3. Parámetros de suelos.....	29
1.4 Ejercicio 1. Cálculos de pesos con base en parámetros edáficos y foliares	31
Hoja de trabajo	32
Retroinformación para el Ejercicio 1	33
1.5 Cálculos secundarios	33
1.6 El análisis de suelos.....	33
1.7 Interpretación de los resultados de laboratorio	34
1.8 Factores de conversión.....	35
1.9. Ejercicio 2	36
Hoja de trabajo	37
Retroinformación para el Ejercicio 2	39
Referencias	39



Figura 1. Suelos sin limitaciones físicas para el cultivo.

Estructura de la unidad

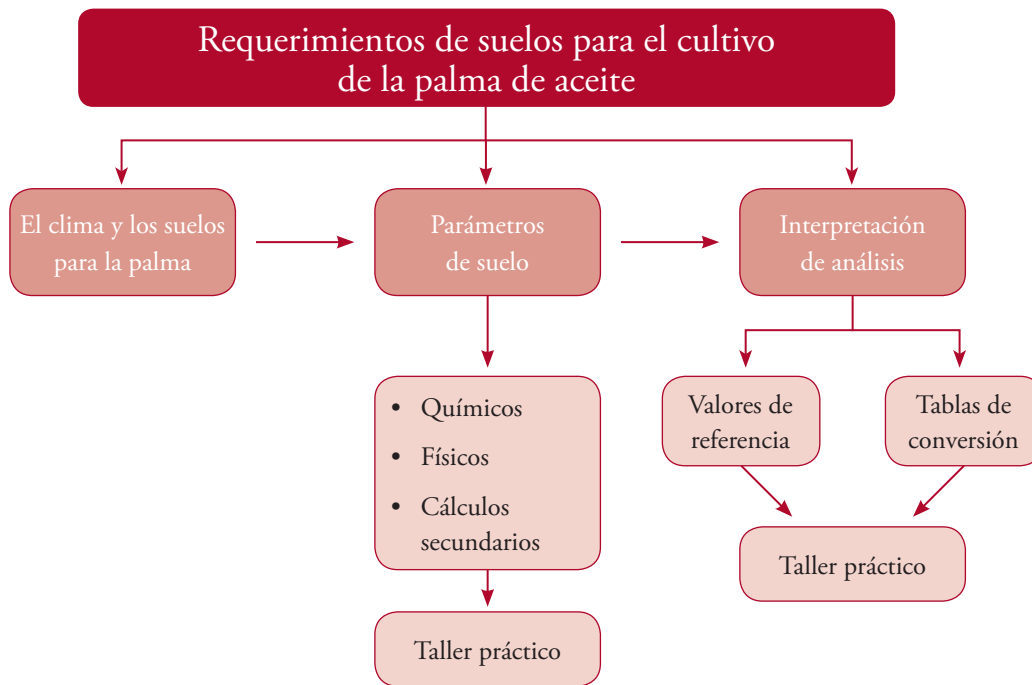


Figura 2. Estructura de aprendizaje de la unidad.

Explicación de la estructura

La presente estructura muestra los tres temas generales que serán tratados en esta unidad de aprendizaje y que le permitirán a los técnicos y otro personal de campo, conocer los requerimientos de suelo para el cultivo de la palma. Comienza definiendo las condiciones del clima y el suelo (químicas y físicas), consideradas como adecuadas para el cultivo, pasando a definir los principales parámetros utilizados en los resultados de análisis de suelos, conocimiento que facilitará interpretar y valorar, mediante valores de referencia, los resultados recibidos del laboratorio. Los temas de aprendizaje serán reforzados con talleres prácticos.

Preguntas orientadoras

Antes de comenzar con el desarrollo de la unidad, el facilitador formulará a los asistentes una serie de preguntas relacionadas con los temas que va a desarrollar, con el propósito de explorar qué tanto conocen los participantes sobre el tema.

El facilitador pide a los participantes responder en forma breve las preguntas, sin profundizar en las respuestas ya que estas se encontrarán en el contenido del tema, a medida que se desarrolle. Un breve comentario del facilitador acerca de cada respuesta, será suficiente.

Las preguntas a formular pueden ser del siguiente tipo:

- ¿Cuáles son algunos de los requerimientos esenciales del suelo donde vamos a sembrar palma?
- ¿Podría dar ejemplos de parámetros usados para mediciones de condiciones físicas y químicas de suelo?
- ¿Qué utilidad práctica tiene para el agrónomo que trabaja en un cultivo de palma conocer valores de referencia para interpretar resultados de laboratorio?
- ¿Qué valores de referencia ha utilizado para calificar los resultados?

Posteriormente, el facilitador pasará a exponer los objetivos que él persigue con la capacitación sobre esta unidad de aprendizaje.

Objetivos

Al final de la capacitación los usuarios de esta guía estarán preparados para:

1. Describir las condiciones del suelo (físicas y químicas) que requiere el cultivo de la palma para garantizar su sostenibilidad productiva en el tiempo.
2. Manejar e interpretar correctamente los diferentes parámetros edáficos así como sus unidades de conversión.

Introducción

A pesar de que la palma de aceite tiene una gran capacidad para adaptarse a diferentes condiciones de suelo

y clima, solo cuando se desarrolla en condiciones muy favorables logra expresar su máximo potencial de producción de racimos y aceite. Para determinar si una zona es apta para la siembra del cultivo es necesario conocer los requerimientos del cultivo en cuanto a suelo y clima así como la oferta ambiental del sitio donde se piensa establecer.

1.1 Los climas para la palma de aceite

El clima y el suelo son los recursos básicos para el adecuado crecimiento de los cultivos y es necesario un estudio detallado de estos antes del establecimiento del cultivo de la palma (Corley y Tinker, 2003). Hartley (1988) y Goh (2000) definieron los requerimientos climáticos ideales para el cultivo así:

- Precipitación anual: 2.000-2.500 mm
- Precipitación mensual: mínimo 100 mm en todos los meses del año
- Déficit de agua anual: <200 mm
- Brillo solar: >2.000 horas/año (>5,5 horas/día)
- Radiación solar: >16 MJ/m²
- Temperatura media: 22-32 °C (altitud <500 msnm)
- Humedad relativa 75-85 %

Para Romero, Moreno y Munévar (1999), las condiciones ideales para Colombia se observan en la Tabla 1.

Tabla 1. Requerimientos ambientales para la siembra de palma en Colombia.

Requerimiento		Clasificación por factores		
Factor diagnóstico	Unidad	Óptimo	Limitación moderada	Limitación severa
Precipitación anual	mm	2.000 - 4.000	1.000 - 2.000 4.000 - 8.000	500 - 1.000
Clase de drenaje		Moderado a bien drenado	Imperfecto	Pobre o excesivo
Pendiente	%	< 7	7 - 12	12 - 25
Profundidad efectiva	cm	> 75	75 - 50	< 50
Horas sol	horas/año	> 2.000	1.000 - 2.000	< 1.000
Temperatura mínima	°C	> 21	-	-
Temperatura máxima	°C	< 31	-	-

1.2 Los suelos para la palma de aceite

Solo se pueden clasificar como suelos óptimos para la palma los que presentan texturas y estructuras que favorezcan la capacidad de retención de humedad y un apropiado drenaje, con profundidad efectiva superior a 50 cm, aceptable grado de fertilidad y ausencia de sustancias tóxicas e inhibitoras (Bernal, 2001, Paramanathan, 2003).

Suelos mal drenados, lateríticos, pesados, de turba profunda, salinos y con pendientes superiores a 10 %, tienen algún grado de limitación para el cultivo (Bernal, 2001).

Las condiciones físicas y químicas que determinan la aptitud de suelos para el cultivo se relacionan en la Tabla 2.

Tabla 2. Clases de aptitud de suelos para el cultivo de la palma. Paramanathan (2003)

Clase de aptitud	Unidades	Apta		Moderada	Marginal	No Apta
		Ninguna	Ligera	Moderada	Severa	Muy Severa
Condiciones físicas						
Textura	-	Fan, F, FL	Fac, FAcL, AcAn	FAcAn, AcL, AcAn	AcL, Ac, Turba	An, Ac, Grava
Profundidad efectiva	cm	> 100	75 - 100	50 - 75	25 - 50	< 25
Espesor capa orgánica	cm	-	0 - 50	50 - 200	200 - 300	> 300
Condiciones químicas						
CIC efectiva	cmol kg ⁻¹	> 24	16 - 24	< 16	-	-
Sat. de bases en horizonte A	%	> 50	35 - 50	< 35	-	-
C orgánico en horizonte A	%	1,5 - 2,0	> 2 - 1,5	-	-	-
Salinidad a 50 cm de profundidad	dSm ⁻¹	0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	> 4

Arias y Beltrán, 2010, en su guía *Diseño y evaluación del programa de manejo nutricional en palma de aceite*, detallan ampliamente cuáles son los nutrimentos más requeridos por el cultivo de la palma de aceite y sus funciones dentro de la planta.

1.3. Parámetros de suelos

En talleres sobre nutrición del cultivo de la palma dictados por Cenipalma en las diferentes zonas palmeras, Garzón (2008) presenta los siguientes parámetros:

1.3.1 Parámetros químicos

1.3.1.1 El cmol (+) kg⁻¹ igual a miliequivalente por 100 g de suelo (meq/100g)

Tiene su base en el concepto del peso equivalente o peso de combinación, el cual se define como el peso de un elemento que puede combinarse con un átomo de hidrógeno. El peso atómico del H⁺ es igual a la unidad, el peso equivalente de otro átomo será igual al peso atómico dividido entre su valencia.

El contenido de los cationes intercambiables del suelo se expresa en términos de miliequivalentes por cada 100 g de suelo seco o de cmol (+) de carga positiva por kilogramo de suelo.

Para el caso de los suelos, el concepto de peso equivalente se entiende mejor con base a las reacciones de intercambio catiónico, Figura 3.

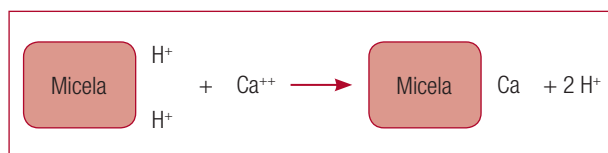


Figura 3. Esquema del concepto del peso equivalente

Para desplazar 2 átomos de H^+ se necesitó un átomo de Ca , en razón a su condición divalente. Por consiguiente, para desplazar un átomo de hidrógeno se necesitará $\frac{1}{2}$ átomo de calcio, lo cual, traducido a cifras sería:

$$\text{Ca: } 40 \times \frac{1}{2} \text{ Ca} = 40/2 = 20 \text{ g}$$

En donde el peso equivalente del Ca (necesario para desplazar un átomo de H^+) será de 20 g.

El miliequivalente es la milésima parte de un equivalente. Para el ejercicio, un miliequivalente de Ca pesará:

$$1 \text{ meq Ca} = 1 \text{ equivalente} / 1.000 = 20 \text{ g} / 1.000 = 0,02 \text{ g}$$

En 100 gramos de suelo (resultado de laboratorio) se tienen entonces 0,02 g de calcio.

Para el caso del cmol(+)/kg: en 1.000 gramos de suelo se tienen 0,2 g de Ca, por lo tanto, en 100 g de suelo se tienen 0,02 g de Ca

Como ejemplo, la solución a la pregunta: ¿cuántos gramos de calcio por 100 g de suelo tiene un suelo cuyo análisis reporta un contenido de 0,46 meq/100 g de suelo?, se da de la siguiente manera:

$$(0,46 \text{ meq} / 100 \text{ g}) \times 0,02 \text{ g} / 1 \text{ meq} = 0,0092 \text{ g de calcio por } 100 \text{ g de suelo.}$$

La CIC se expresa también en meq/100 g o en cmol(+)/kg⁻¹, entonces, si un suelo tiene una CIC de 17,34 meq/100 g se interpretará que cada 100 g de peso

seco de tal suelo está en capacidad de almacenar un máximo de 17,34 meq de cationes.

1.3.1.2 El mg.kg⁻¹ igual a las partes por millón (ppm)

Al igual que los cmol(+)/kg⁻¹, esta es otra unidad que denota cantidad de un elemento en el suelo y se utiliza para expresar el contenido de un nutriente tanto en el suelo como en los tejidos. Las concentraciones de N, P aprovechables y de los micronutrientes se expresan usualmente en ppm (partes por millón).

Las partes por millón, expresan partes del elemento por cada millón de partes del suelo.

$$1 \text{ ppm} = 1 \text{ g de un elemento} / 1.000.000 \text{ de g de suelo} = 1 \text{ mg} / 1.000 \text{ g de suelo} = 1 \text{ mg} / 1 \text{ kg de suelo}$$

Como ejemplo, 10 ppm de Ca indican 10 g de Ca por cada millón de gramos de suelo, o bien 10 kg de Ca por cada millón de kg de suelo.

Con frecuencia, se requiere convertir meq/100 g de suelo a ppm o viceversa, para lo cual el razonamiento es sencillo.

Para resolver el ejercicio de conocer a cuántas ppm corresponde un contenido de Mg de 4 meq/100 g de suelo, procedo de la siguiente manera:

$$\text{Peso atómico del Mg} = 24 \text{ gr. Valencia del Mg} = 2$$

$$1 \text{ eq. de Mg} = 12 \text{ g, } 1 \text{ meq Mg} = 0,012 \text{ g}$$

$$1 \text{ meq. Mg} / 100 \text{ g de suelo} = 0,012 \text{ g de Mg} / 100 \text{ g de suelo}$$

$$4 \text{ meq. de Mg} / 100 \text{ g de suelo} = 0,012 \text{ g} \times 4 = 0,048 \text{ g de Mg por cada } 100 \text{ g de suelo.}$$

Luego, a través de una regla de tres simple:

$$\text{Si en } 100 \text{ g de suelo tengo } 0,048 \text{ g de Mg}$$

$$\text{En } 1.000.000 \text{ g de suelo tengo } X (?)$$

$$X = 480 \text{ ppm de Mg.}$$

Para el contenido de nutrimentos en tejidos vegetales, la relación se da en partes del elemento por cada millón de partes de tejido vegetal, con base en peso seco.

1.3.1.3 El porcentaje (%), igual a 10g/kg

El porcentaje (%) expresa el contenido de un elemento en términos de gramos del mismo por cada 100 g de suelo o por 100 g de peso seco de tejido vegetal. El contenido de materia orgánica (MO), nitrógeno total, CO se expresan en esta unidad.

Con base en lo anterior, una concentración del 3 % de CO equivale entonces a 3 g de CO/100 g de suelo o tejido o 30 g de CO/kg de suelo o tejido.

Se observa cómo su manejo es análogo al de las partes por millón.

1.3.2 Parámetros físicos

1.3.2.1 Peso de una hectárea

El peso de una hectárea es función de la profundidad radicular o profundidad de arada y de la densidad aparente (Da) del suelo, la cual a su vez depende de la mineralogía del suelo, porosidad, contenido de materia orgánica y textura, entre otros.

Generalmente se toma una profundidad de 20 cm, pero en ocasiones se utilizan valores mayores 25, 30 cm.

Para conocer cuál es el peso de una hectárea, considerando 20 cm de profundidad y una Da. de 1 g/cm³, el procedimiento es el siguiente:

$$P = V \times Da$$

Donde P = Peso de la ha

V = Volumen de la ha a 20 cm de profundidad

Da = Densidad aparente del suelo

$$V = 100 \times 100 \times 0,20 \text{ m} = 10.000 \times 0,20 = 2000 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Como 1 m³ = 1.000.000 cm³, entonces,

$$V = 2000 \text{ m}^3 / \text{ha} \times 1.000.000 = 2.000.000.000 \text{ cm}^3 / \text{ha} = 2 \times 10^9 \text{ cm}^3/\text{ha}$$

$$P = (2 \times 10^9 \text{ cm}^3) \times (1 \text{ g/cm}^3) = 2 \times 10^9 \text{ g ha}^{-1}$$

$$P = 2 \times 10^6 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$P = 2.000.000 \text{ kg ha}^{-1} = 2.000 \text{ t/ha}$$

La ha de suelo, a una profundidad de 20 cm y Da. de 1 g/cm³ tiene un peso de 2.000.000 de kilogramos o 2.000 toneladas.

1.3.2.2 kilogramos de un nutrimento por hectárea

Con fines de diagnóstico y manejo de suelos, la expresión de nutrimentos en kg ha⁻¹ es muy útil.

Como ejemplo, deseo conocer cuántos kg ha⁻¹ de materia orgánica (MO), tiene un suelo, cuyo análisis arrojó un contenido del 5 % de MO y el peso es de 2.000.000 kg ha⁻¹.

El procedimiento es el siguiente:

Si en 100 kg de suelo tengo 5 kg de MO

En 2.000.000 kg de suelo tengo X

$$X = 100.000 \text{ kg de MO por ha} = 100 \text{ t de MO.}$$

1.4 Ejercicio 1. Cálculos de pesos con base en parámetros edáficos y foliares

Objetivo

los participantes desarrollarán la capacidad para manejar con facilidad los diferentes parámetros edáficos y foliares, así como sus unidades y conversiones.

Orientaciones para el facilitador

Los problemas que se plantean en la hoja de trabajo pueden ser cambiados por el facilitador, según su criterio.

1. Divida al grupo en cinco subgrupos para que cada uno de ellos resuelva uno de los problemas planteados, a partir del numeral 2.
2. Todos los subgrupos resolverán el problema 1 para lo cual se concederá un tiempo de 10 minutos.
3. Pida a cada subgrupo que presente las respuestas al problema 1. Fomente la discusión general en el grupo sobre si las respuestas son o no correctas.
4. Conceda 10 minutos para que cada grupo resuelva el problema que se le presentó, numeral 2 al 6.

- Pida a cada grupo que presente las respuestas al respectivo problema.
- Solicite a los demás indicar si la respuesta alcanzada por cada grupo que presenta es la correcta y revise los cálculos en caso de error.

Recursos necesarios

- Hoja de trabajo para cada uno de los participantes, con los problemas a resolver.
- Tiempo: 10 minutos para resolver los problemas y 30 para la revisión.

Instrucciones para los participantes

- Formen equipos de tres a cinco miembros.
- En la hoja de trabajo encuentren los problemas a resolver.
- Resuelvan el problema 1 y discutan con el grupo en pleno si las respuestas son o no correctas
- Si su grupo es el N°. 1, el problema que resolverán es el N°. 2, y así sucesivamente.
- Comparta con los demás participantes el resultado.
- Revisen y corrijan los errores de cálculo, en caso necesario.

Hoja de trabajo

Problema	Grupo que lo resuelve	Respuesta
1. Establecer el peso de un miliequivalente de los siguientes elementos: Mg ⁺⁺ , peso atómico 24 K ⁺ , peso atómico 39,1 Na ⁺ , peso atómico 23 H ⁺ , peso atómico 1 O ⁻ , peso atómico 16 Al ⁺⁺⁺ , peso atómico 27	Todos	
2. Si el análisis de un suelo arroja un contenido de 400 ppm de calcio intercambiable, ¿cuál será su contenido en términos de meq/100 g?	1	
3. En una muestra de tejido vegetal se determinó un contenido de 10 ppm de cobre. Si el peso seco total de la planta fue de 10 g, ¿cuántos mg de Cu hay en la muestra?	2	
4. ¿Cuál será el peso de una hectárea de suelo si tenemos una Da de 1,33 g/cm ³ y una profundidad de 20 cm?	3	
5. El análisis de un suelo muestra 20 mg.kg ⁻¹ de P aprovechable. En una hectárea que pesa 800.000 kg, ¿cuántos kg de P aprovechable existen?	4	
6. El análisis de un suelo señaló una concentración de 0,26 cmol(+).kg ⁻¹ de K aprovechable. En una hectárea que pesa 1.500.000 kg, ¿cuántos kg de K aprovechable existen?	5	

Retroinformación para el Ejercicio 1

El facilitador puede conducir una discusión acerca de los cálculos realizados y los resultados obtenidos.

En segundo término, será muy importante que la discusión se amplíe respondiendo a la pregunta:

¿Por qué es importante manejar correctamente los parámetros de suelos y foliares cuando se está a cargo del manejo de un programa nutricional?

1.5 Cálculos secundarios

El conocimiento de los contenidos de los diferentes elementos en el suelo es una herramienta útil para

calcular las saturaciones del complejo de cambio y las relaciones entre las bases.

1.5.1 Saturaciones del complejo de cambio

Las saturaciones del complejo de cambio hacen referencia a la relación entre los cationes incluyendo el H⁺ y el Al⁺⁺⁺. Su expresión se hace en porcentaje y representa el grado de saturación de cada catión (Dorronsoro, 2011).

Como ejemplo, Garzón (2008), procede a la suma de los cationes para calcular las saturaciones de bases de un suelo cuyo resultado de laboratorio arroja los valores de los parámetros químicos detallados a continuación:

CIC	Potasio	Calcio	Magnesio	Sodio	Aluminio
cmol(+) kg^{-1}	cmol(+) kg^{-1}	cmol(+) kg^{-1}	cmol(+) kg^{-1}	cmol(+) kg^{-1}	cmol(+) kg^{-1}
16,6	0,29	10,8	4,8	0,3	0,04

Cálculos:

CICE = Capacidad de Intercambio Catiónica Efectiva

$$\text{CICE} = \text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} + \text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{Al}^{+++}$$

$$\text{CICE} = 16,2 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$$

$$\% \text{ saturación de bases} = \frac{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} + \text{K}^+ + \text{Na}^+}{\text{CICE}} \times 100$$

$$\text{Suma de bases (CICE)} = 16,2 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$$

$$\% \text{ saturación de } \text{K}^+ = \frac{\text{K}^+}{\text{CICE}} \times 100$$

$$\% \text{ saturación de } \text{K}^+ = 1,79 \%$$

1.5.2 Las relaciones entre cationes

La interpretación de los cationes debe hacerse en conjunto ya que entre ellos existen antagonismos y sinergismos. Las relaciones a tener en cuenta son Ca/Mg; Mg/K y (Ca+Mg)/K.

Para el ejemplo que traemos, la relación Ca/Mg sería:

$$\text{Ca/Mg} = 10,8 / 4,8 = 2,25$$

1.6 El análisis de suelos

Es la herramienta para determinar el nivel de nutrientes que se encuentran en el suelo donde se piensa establecer el cultivo. El análisis de suelo, utilizado en conjunto con otra información, permite hacer recomendaciones de fertilización y encalado, predecir la probabilidad de obtener respuesta rentable a la aplicación de fertilizantes y monitorear los cambios nutricionales en el suelo. (Baker, Shane y Flynn, 1997; PPI, 1997)

El Laboratorio de Análisis Foliares y de Suelos, LAFS, de Cenipalma, (uno de los laboratorios donde se pueden analizar las muestras), ofrece los tipos de análisis detallados en la Tabla 3.

Tabla 3. Análisis ofrecidos por el LAFS de Cenipalma.

Tipo de análisis	incluye
Principal	pH, Conductividad eléctrica, acidez, aluminio, CIC, potasio, magnesio, calcio, sodio, fósforo
Básico	pH, Conductividad eléctrica, acidez, aluminio, CIC, potasio, magnesio, calcio, sodio, fósforo. Textura, materia orgánica
Completo	pH, Conductividad eléctrica, acidez, aluminio, CIC, potasio, magnesio, calcio, sodio, fósforo. Textura, materia orgánica. Boro, azufre, menores
Bases solubles	Calcio, magnesio, sodio, potasio
Determinaciones individuales	pH, conductividad eléctrica, densidad aparente, densidad real, porosidad total

1.7 Interpretación de los resultados de laboratorio

Los datos obtenidos por el análisis se deben contrastar con un conjunto de escalas de referencia.

1.7.1 Niveles críticos de referencia para el cultivo de palma de aceite en Colombia

El LAFS de Cenipalma elaboró la siguiente tabla de niveles críticos de nutrimentos en el suelo (Tabla 4), basado en los resultados de muestras analizadas en el laboratorio, provenientes de las diferentes zonas palmeras del país:

Tabla 4. Niveles críticos de nutrimentos en el suelo para el establecimiento del cultivo de la palma en Colombia. Fuente: Cenipalma.

Parámetro	Unidades	Bajo	Medio	Adecuado
pH		<4,5	4,5-5,0	>5,0
Materia orgánica	%	<2,0	2,0-4,0	>4,0
N Total	%	<0,1	0,1 - 0,2	0,2
CE	ds/m	<2,0	2,0 - 4,0	>4,0
CIC	cmol(+)kg ⁻¹	<10	10,0 - 20,0	>20
P (Bray II)	mg kg ⁻¹	<10	10 - 15	>15
K	cmol(+)kg ⁻¹	<0,2	0,2-0,4	>0,4
Saturación de K	%	<3	3 - 6	>6
Ca	cmol(+)kg ⁻¹	-	-	-
Saturación de Ca	%	<20	20-40	>40
Mg	cmol(+)kg ⁻¹	-	-	-
Saturación de Mg	%	<10	10-20	>20

Continúa

Parámetro	Unidades	Bajo	Medio	Adecuado
Saturación de Al	%			<30
Saturación de Na	%	<10	10,0 - 15	>15
S	mg kg ⁻¹	<10	10-15	>15
B	mg kg ⁻¹	<0,25	0,25-0,50	>0,50
Mn	mg kg ⁻¹	<5	5 - 10	>10
Zn	mg kg ⁻¹	<1	1 - 2	> 2,0
Cu	mg kg ⁻¹	<0,5	0,5 - 1,5	> 1,5
Fe	mg kg ⁻¹	<15	15 - 30	>30
Relación Ca:Mg:K		2:1:0.3	Adecuado	

1.8 Factores de conversión

En los resultados de los análisis de laboratorio los nutrientes se expresan en forma elemental o como elemento puro. Sin embargo, en el lenguaje de los fertilizantes, los nutrientes, generalmente, se expresan como óxidos. Lo anterior, hace necesario realizar las respectivas conversiones de elemento puro a óxido o viceversa, para calcular las cantidades de enmiendas o fertilizantes a aplicar en el suelo. Los factores de conversión tomados de Garzón (2008), relacionados en la Tabla 5, ayudan en este proceso de conversión.

Tabla 5. Factores de conversión de elementos a óxidos y viceversa.

Valor	de	a	Multiplicar por	Resultado
X	N	NO ₃	4,43	Y
X	N	NH ₄	1,28	Y
X	P	P ₂ O ₅	2,29	Y
X	K	K ₂ O	1,2	Y
X	KCl	K ₂ O	0,63	Y
X	Ca	CaO	1,4	Y
X	CaCO ₃	CaO	0,56	Y
X	Mg	MgO	1,67	Y
X	MgO	MgSO ₄	3	Y
X	MgO	MgCO ₃	2,08	Y
X	S	SO ₄	3	Y
X	B	B ₂ O ₃	3,22	Y

Valor	de	a	Multiplicar por	Resultado
X	NO ₃	N	0,226	Y
X	NH ₄	N	0,78	Y
X	P ₂ O ₅	P	0,44	Y
X	K ₂ O	K	0,83	Y
X	K ₂ O	KCl	1,58	Y
X	CaO	Ca	0,714	Y
X	CaO	CaCO ₃	1,78	Y
X	MgO	Mg	0,6	Y
X	MgSO ₄	MgO	0,33	Y
X	MgCO ₃	MgO	0,48	Y
X	SO ₄	S	0,33	Y
X	B ₂ O ₃	B	0,31	Y

Como ejemplo, la transformación a óxidos de boro se realiza de la siguiente manera:

	Peso atómico	Peso molecular
B ₂	10,82 g	21,64 g
O ₃	16 g	48 g
		69,64 g
	Peso molecular	Peso de B
B ₂ O ₃	69,64	21,64
	1	X
	X =	0,31

	Peso molecular	Peso de B
B ₂ O ₃	69,64	21,64
	X	1
	X =	3,22

1.9. Ejercicio 2

Interpretación de resultados de análisis de suelos, cálculos secundarios y cálculos de nutrimentos a aplicar al suelo.

Objetivos

Los participantes desarrollarán la capacidad para:

1. Interpretar con facilidad resultados de análisis de suelo.
2. Calcular las cantidades de nutrimentos para aplicar al suelo de acuerdo con los valores de referencia para establecer el cultivo de la palma.
3. Realizar transformaciones de elementos a óxidos.

Orientaciones para el facilitador

Los ejemplos y problemas que se plantean en la hoja de trabajo pueden ser cambiados por el facilitador, según su criterio:

1. Divida al grupo en cuatro subgrupos para que cada uno de ellos interprete una de las muestras de análisis de suelos planteadas, realice los cálculos secundarios y calcule los nutrimentos y óxidos a aplicar al suelo.
2. Conceda 30 minutos para que cada grupo interprete y realice los cálculos solicitados.
3. Pida a cada grupo que presente las respuestas al respectivo análisis.
4. Solicite a los demás indicar si la respuesta alcanzada por cada grupo que presenta es la correcta y revise los cálculos en caso de error.

Recursos necesarios

1. Hoja de trabajo para cada uno de los participantes, con los problemas a resolver.
2. Tiempo: 30 minutos para resolver los problemas y 30 más para la revisión.

Instrucciones para los participantes

1. Formen equipos de tres a cinco miembros.
2. En la hoja de trabajo encuentran los resultados de los análisis de suelos a interpretar. Si su grupo es el N°. 1, la muestra que interpretarán es la N°. 1, y así sucesivamente.
3. Realicen los cálculos secundarios.
4. Estimen la cantidad de nutrimentos y óxidos que serán necesarios aplicar al suelo, por hectárea, para alcanzar valores de referencia considerados como adecuados.
5. Comparta con los demás participantes el resultado.
6. Revisen y corrijan los errores de cálculo, si es necesario.

Hoja de trabajo

A. Calificación de resultados de análisis de suelos a diferentes muestras

Resultados de análisis de suelos									
Parámetro	Unidades	Muestra 1	Calif.	Muestra 2	Calif.	Muestra 3	Calif.	Muestra 4	Calif.
Profundidad	cm	0 - 15		0 - 20		0 - 20		0 - 20	
D. a.	g/cm ³	1,3		1,3		1,3		1,3	
Textura		F		F		F - L		F	
Arena	%	44,0		45,3		22,6		46,3	
Arcilla	%	27,4		20,7		23,4		12,5	
Limo	%	28,7		34,0		54,0		41,2	
pH	Unidades	4,63		4,82		6,89		4,01	
CE	dS/m	N.D.		N.D.		0,21		N.D.	
Acidez Inter	cmol(+)kg ⁻¹	1,79		0,37		N.D.		0,97	
CIC	cmol(+)kg ⁻¹	8,35		8,27		11,6		11,4	
C. Orgánico	%	2,02		1,81		0,61		2,99	
M. Orgánica	%	3,48		3,12		1,05		5,15	
Potasio	cmol(+)kg ⁻¹	0,45		0,44		0,28		0,49	
Calcio	cmol(+)kg ⁻¹	0,92		2,72		10,1		2,27	
Magnesio	cmol(+)kg ⁻¹	0,25		1,02		2,27		1,22	
Sodio	cmol(+)kg ⁻¹	0,03		0,03		0,07		0,10	
Aluminio	cmol(+)kg ⁻¹	1,59		0,23		N.D.		0,71	
Silicio	mg kg ⁻¹	N.D.		N.D.		N.D.		N.D.	
Fósforo	mg kg ⁻¹	24,0		49,2		91,1		5,11	
Azufre	mg kg ⁻¹	11,2		14,6		10,8		13,3	
Boro	mg kg ⁻¹	0,45		0,69		0,20		0,35	
Hierro	mg kg ⁻¹	138		171		44,8		109	
Cobre	mg kg ⁻¹	0,85		0,45		2,41		1,26	
Manganeso	mg kg ⁻¹	9,51		19,8		83,7		114	
Zinc	mg kg ⁻¹	14,3		0,70		2,35		2,07	

B. Cálculos secundarios

Cálculo	Unidades	Muestra 1	Calif.	Muestra 2	Calif.	Muestra 3	Calif.	Muestra 4	Calif.
CICE	cmol(+)kg ⁻¹								
Suma bases	cmol(+)kg ⁻¹								
Sat. bases	%								
Sat. K	%								
Sat. Ca	%								
Sat. Mg	%								
Sat. Na	%								
Sat. Al	%								
Ca:Mg	Unidades								
(Ca + Mg)/K	Unidades								

C. Cálculo de diferencias de valores de laboratorio y recomendado

Diferencia con el nivel crítico					
Nutrimento	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Potasio	cmol(+)kg ⁻¹				
Calcio	cmol(+)kg ⁻¹				
Magnesio	cmol(+)kg ⁻¹				
Sodio	cmol(+)kg ⁻¹				
Fósforo	mg kg ⁻¹				
Azufre	mg kg ⁻¹				
Boro	mg kg ⁻¹				
Hierro	mg kg ⁻¹				
Cobre	mg kg ⁻¹				
Manganeso	mg kg ⁻¹				
Zinc	mg kg ⁻¹				

D. Transformación de las diferencias a nutrimentos por hectárea

Equivalencia en kilogramos / hectárea					
Nutrimento	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Potasio	Kg/ha				
Calcio	Kg/ha				
Magnesio	Kg/ha				
Sodio	Kg/ha				
Fósforo	Kg/ha				
Azufre	Kg/ha				
Boro	Kg/ha				
Hierro	Kg/ha				
Cobre	Kg/ha				
Manganeso	Kg/ha				
Zinc	Kg/ha				

Retroinformación para el Ejercicio 2

El facilitador puede conducir una discusión acerca de los cálculos realizados y los resultados obtenidos.

En segundo término, el facilitador preguntará si los participantes conocen otras metodologías para calcular

los requerimientos de nutrimentos a aplicar al suelo. Los dirigirá hacia la metodología utilizada en la guía *Diseño y evaluación del programa de manejo nutricional en palma de aceite* de los autores Arias y Beltrán, (2010), invitando a los participantes a comparar las metodologías, evaluando ventajas y desventajas de cada método.

Referencias

- Arias N. y Beltrán J.A. 2010. Diseño y evaluación del programa de manejo nutricional en palma de aceite.
- Baker, R D; Shane T, Ball and Flynn, R. 1997. Soil Analysis: A key to soil nutrient management. New México State University. Electronic Distribution. aces.nmsu.edu/pubs/_a/a-137.html
- Bernal, N. Fernando. 2001. El cultivo de la palma de aceite y su beneficio. Guía general para el nuevo palmicultor. Fedepalma. ISBN: 958-96494-3-2 186p.
- Corley, R.H.V and Tinker P.B. 2003. The Oil Palm. Blackwell Science Ltd. Fourth edition. Oxford. Reino Unido. ISBN: 0-632-05212-0. 608p.
- Dorronsoro, C. 2011. Introducción a la Edafología. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada. España. Unidad docente e investigadora de la Facultad de Ciencias. Información acerca del suelo. Libros electrónicos y monografías. <http://www.edafologia.net>

- Goh KJ. 2000. Climatic requirements of the oil palm for high yields. In: *Managing oil palm for high yields: agronomic principles* (Ed. by Goh J.K.), pp. 1-17, Malaysian Soc. Soil Sci. and Param Agric. Surveys, Kuala Lumpur.
- Garzón G. E M. 2008. Curso de suelos para el sector palmero. Santa Marta. Octubre de 2008
- Hartley C.W.S. 1988. *The Oil Palm*. 3rd edn, Longman, London.
- Paramanathan S. 2003. Land Selection for Oil Palm. In: *Oil Palm: management for Large and Sustainable Yields*. Fairhurst T. and Hardter R. edits. Potash and Phosphate Institute.
- Potash and Phosphate Institute, PPI. 1997. Manual internacional de fertilidad de suelos. Versión en español.
- Romero, M.; Moreno, A.; Munévar, F. 1999. Evaluación edafoclimática de las tierras del trópico bajo colombiano para el cultivo de la palma de aceite. Cenipalma. Bogotá.



Unidad Temática 2. Composición general del suelo

Estructura de la unidad	43
Explicación de la estructura	43
Preguntas orientadoras	44
Objetivos.....	44
Introducción	44
2.1. Composición del suelo	44
2.2 Propiedades físicas del suelo.....	46
2.3. Ejercicio 1. Análisis del suelo y sus propiedades físicas	49
2.4 Propiedades químicas del suelo.....	50
2.5 Ejercicio 2. Prueba para el análisis de las propiedades químicas de los suelos.....	51
2.6 Estudio de suelos para la siembra de la palma de aceite.....	52
2.7 Ejercicio 3. Descripción de los perfiles de suelo	53
Anexo técnico 1.	57
Ejercicio 4. Medición de la infiltración del agua en el suelo con el infiltrómetro de doble anillo.....	60
Anexo técnico 2.....	64
Ejercicio 5. Toma de muestras para determinar las propiedades químicas del suelo ...	65
Referencias	69



Figura 4. Perfil de suelo.

Estructura de la unidad

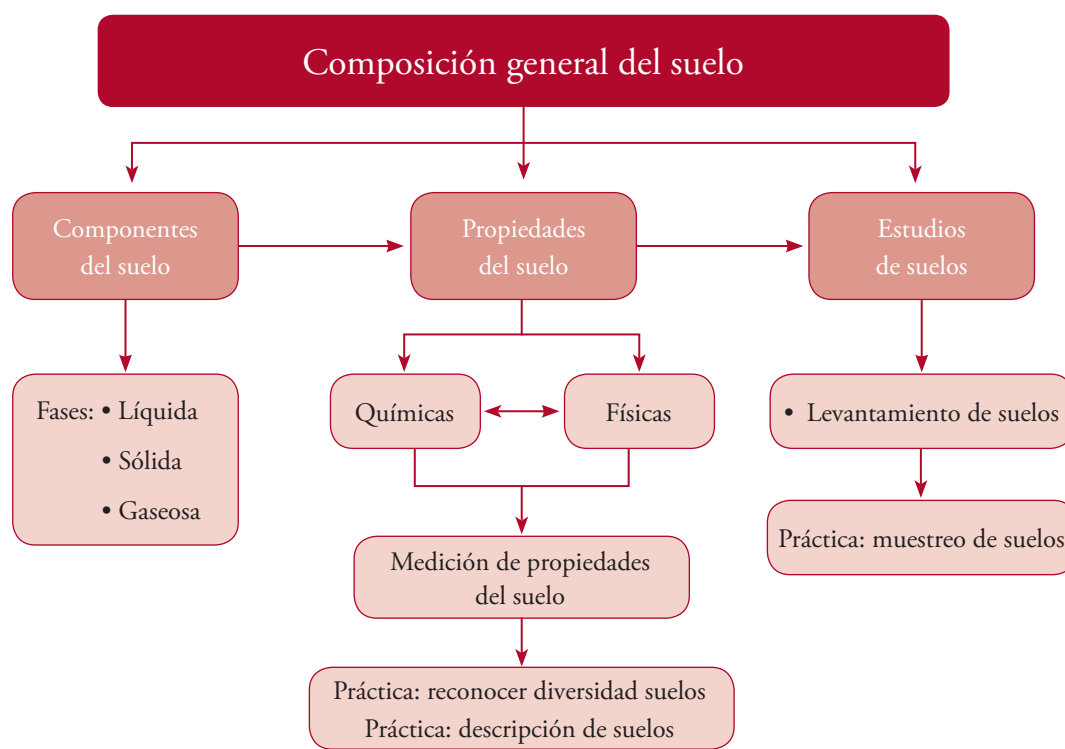


Figura 5. Estructura de aprendizaje de la unidad.

Explicación de la estructura

La presente estructura muestra los tres temas generales que serán tratados en esta unidad de aprendizaje y que le permitirán a los técnicos y al personal de campo caracterizar las condiciones químicas y físicas del suelo donde se establecerá el nuevo cultivo de palma. Se inicia con la explicación de las fases del suelo; continúa describiendo las propiedades del suelo, destacando cómo ellas interactúan entre sí para dar al suelo características más favorables para el desarrollo del nuevo cultivo y finaliza con el conocimiento,

mediante el levantamiento de suelos, de los tipos de suelos presentes en el área de estudio que serán la base para el agrupamiento en Unidades de Manejo Agronómico (UMA).

Dentro del tema de propiedades del suelo se mencionarán técnicas para realizar el muestreo, para la medición de las propiedades químicas y físicas y se harán prácticas de campo sobre la caracterización inicial del nuevo lote a sembrar con palma de aceite y sobre la toma de muestras, que ayudarán a conocer la calidad y salud del suelo.

Preguntas orientadoras

Orientaciones para el facilitador

Antes de comenzar con el desarrollo de la unidad, el facilitador formulará a los asistentes una serie de preguntas relacionadas con los temas que va a desarrollar, con el propósito de evaluar qué tanto conocen los participantes sobre el tema.

Las respuestas a estas preguntas se encontrarán en el contenido del tema, a medida que se esté desarrollando, razón por la cual no es necesario que el facilitador las responda. Su intención es introducir el tema y animar a los asistentes a participar.

Las preguntas a formular pueden ser del siguiente tipo:

- ¿Qué es un suelo?
- ¿Cómo está constituido el suelo?
- ¿Cuáles son algunas de las propiedades físicas del suelo?
- ¿Cuáles son algunas de las propiedades químicas del suelo?
- ¿Por qué es importante conocer las propiedades del suelo?
- ¿Para qué se muestrean los suelos?

Puede ser que los participantes desconozcan las respuestas a varias de estas preguntas. Por ello, el facilitador les advierte que las respuestas se encontrarán durante el estudio de esta unidad de aprendizaje. Posteriormente, el facilitador pasará a exponer los objetivos que él persigue con la capacitación sobre esta unidad de aprendizaje.

Objetivos

Al final de la capacitación los usuarios de esta guía estarán capacitados para:

- Realizar mediciones de campo para determinar propiedades físicas del suelo y recolectar muestras para física y química de suelos.
- Clasificar y separar en el campo las muestras tomadas por sitio y profundidad.

- Manipular adecuadamente los equipos para el muestreo de física de suelos.
- Desarrollar destreza visual y táctil para separar horizontes del suelo con base en algunas propiedades al momento de su descripción.
- Identificar con acierto los factores que afectan la calidad de los parámetros físicos del suelo en el campo.
- Identificar de manera general las diferentes clases de suelo presentes en un lote, o en la plantación, al momento de establecer el cultivo.

Introducción

El suelo es el medio natural para el desarrollo de las plantas. Su importancia radica en que sirve de anclaje y provee la nutrición a las plantas que nos proporcionan comida, fibra, medicinas y otras necesidades humanas, y porque filtra el agua y recicla desechos. (SSS, 2006).

Se considera que un suelo es de buena calidad para la agricultura si:

- Permite que el agua lluvia penetre en él y se redistribuya en el volumen ocupado por las raíces.
- Permite que las raíces puedan explorarlo.
- Posee una porosidad mínima de 50 % con una buena distribución de macro, meso y microporos.
- Posee buen nivel de todos los elementos nutritivos, en formas disponibles y buena capacidad de restitución.
- Posee un contenido adecuado de materia orgánica (Amézquita, 1994).

2.1. Composición del suelo

En un volumen de suelo se encuentran tres fases: sólida, líquida y gaseosa; y cuatro componentes: mineral, orgánico, agua y aire, en las proporciones ilustradas en la Figura 6 (Hillel, 2004).

2.1.1. Fase sólida del suelo

Compuesta de partículas minerales y de materia orgánica (SSS, 2006). En condiciones normales tiene 45 %

de partículas minerales y 5 % de materia orgánica (Hillel, 2004, Sullivan, 2007).

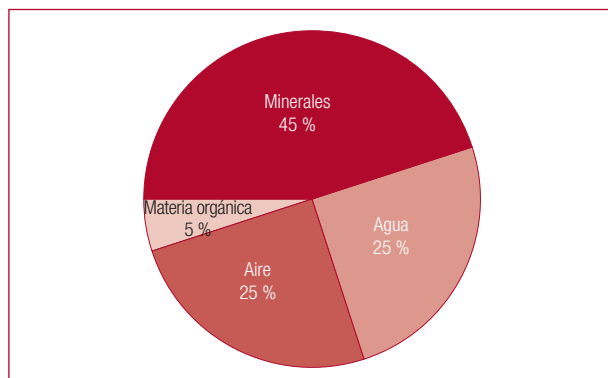


Figura 6. Composición del suelo

La fracción mineral del suelo está constituida por partículas de arena, limo y arcilla, las cuales son separadas de acuerdo a su granulometría, Tabla 6. (Rucks, et al., 2004).

Tabla 6. Clasificación de las partículas del suelo.

Sistema Depto. de Agricultura de EE.UU		Sistema Internacional
Fracción del suelo	Diámetros límites en mm.	Diámetros límites en mm.
Arena muy gruesa	2,00 – 1,00	
Arena gruesa	1,00 – 0,50	2,00 – 0,20
Arena media	0,50 – 0,25	
Arena fina	0,25 – 0,10	0,20 – 0,02
Arena muy fina	0,10 – 0,05	
Limosa	0,05 – 0,002	0,02 – 0,002
Arcilla	Menos de 0,002	Menos de 0,002

Fuente: Rucks, et al., 2004.

Generalmente, los suelos arenosos presentan drenaje excesivo, baja capacidad de retención de nutrimentos y agua, son fáciles de labrar y muy susceptibles a la erosión. Los suelos arcillosos, en general, presentan mal drenaje, buena capacidad de retención de agua y

nutrimentos, son difíciles de trabajar y más resistentes a la erosión (Amezquita, 1994).

La *materia orgánica (MO)* es uno de los principales componentes físicos del suelo y de ella depende la vida microbiológica del suelo. La MO está constituida por residuos animales y vegetales en descomposición y por humus (producto final de la descomposición), constituyéndose en fuente de nutrimentos que retornan al suelo y pueden ser aprovechados por los cultivos (Sullivan, 2007).

2.1.2 Fase líquida del suelo

Está constituida por el agua del suelo, la cual es primordial para producción de los cultivos por: a) satisfacer las necesidades hídricas de la planta y b) actuar como disolvente y, junto con los nutrimentos disueltos en ella, constituye la solución del suelo.

Capacidad de campo (CC). Es la cantidad de agua, en porcentaje (%), que un suelo puede retener después de que se ha regado abundantemente y se le ha dejado drenar por 48 horas. Normalmente se asume que la CC ocurre a una succión (tensión negativa) de 0,3 bares.

Punto de marchitez (PM). Puede definirse como el porcentaje de agua que existe en el suelo cuando las plantas se marchitan permanentemente: después de la lluvia o el riego, cuando el suelo se va secando, las plantas deben efectuar un mayor trabajo para poder absorber agua. Se asume que el PM ocurre a una succión de 15 bares (Buckman and Brady, 1984).

La cantidad de agua aprovechable para la planta es la contenida en el suelo entre la capacidad de campo y el punto de marchitez.

2.1.3 Fase gaseosa

Constituida por el oxígeno en el aire del suelo, necesario para el desarrollo de los cultivos y de los microorganismos aeróbicos. Un suelo está bien aireado cuando su porosidad de aireación es igual o superior al 10 % en volumen (Buckman and Brady, 1984).

Un exceso de agua desplaza el aire del suelo y crea una condición en la cual solo dos fases están presentes:

la sólida y la líquida. Cuando sucede una sequía prolongada, solo dos fases, desde el punto de vista de productividad existen: la sólida y la gaseosa. (Amézquita 1994).

2.2 Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas de los suelos determinan la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad y la retención de nutrimentos. (Rucks, *et al.*, 2004).

A continuación se definirán las variables: color, textura, estructura, estabilidad estructural, porosidad, densidad aparente y real del suelo, infiltración y conductividad hidráulica saturada.

2.2.1 Color

Es una característica fácilmente observable que permite deducir rasgos importantes. Las coloraciones oscuras, por lo general, indican alto contenido de materia orgánica; los colores rojizos y pardos amarillentos están asociados con óxidos de hierro y con buena capacidad de infiltración; los colores grisáceos reflejan condiciones de oxidación y reducción y se asocian con encharcamientos frecuentes y, los colores blancuzcos son debidos a la acumulación de sales (Dorronsoro, 2011). Para una mejor caracterización se utiliza la tabla Munsell (Figura 7).



Figura 7. Tabla Munsell para determinar el color del suelo.

2.2.2 Textura

Se refiere a las proporciones de arena, limo y arcilla que se encuentran en una masa de suelo. La textura es usada para predecir algunas propiedades químicas, como la capacidad de intercambio de cationes (CIC), y físicas como la retención de humedad, la consistencia y la infiltración (Forsythe, 1985).

En el campo se puede determinar al tacto, al colocar una pequeña cantidad de suelo húmedo y frotarlo entre los dedos. El análisis mecánico de las partículas (Método de Boujouscos) se realiza en un laboratorio y proporciona los contenidos de arcillas, limos y arenas de la muestra (Forsythe, 1985). La clasificación se realiza con ayuda del triángulo textural, Figura 8.

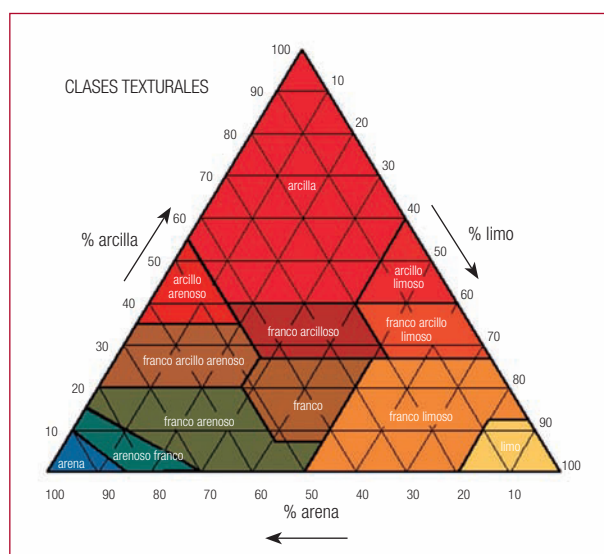


Figura 8. Triángulo textural. Fuente: SSS, 1999.

2.2.3 Estructura

Es la forma como se agrupan las partículas del suelo formando los agregados del suelo. El grado de estructura determina la porosidad, la cantidad de agua que puede almacenar el suelo y su capacidad para transmitir el agua. Es afectada por los cambios de clima, actividad microbiana y las prácticas de manejo (Hillel, 2004).

Según el Soil Survey Manual del SSS (1993) los tipos de estructura más frecuentes son:

- *Granular*: agregados de forma redondeada, con diámetro inferior a 0,5 cm. Se presenta en horizontes superficiales donde han crecido raíces. Es la estructura más favorable.
- *Bloques*: agregados de forma poliédrica de 1,5 a 5 cm de diámetro. Son angulares cuando las aristas son rectas con caras rectangulares y subangulares cuando las aristas son agudas y las caras curvas. Típica de horizontes arcillosos.
- *Prismática*: bloques formados en columnas verticales de forma prismática. Normalmente se encuentra en horizontes profundos, enriquecidos con arcilla. Los prismas pueden ser tan duros que las raíces no los pueden penetrar.
- *Columnar*: prismas con su cara superior redondeada, cubierta por una cúpula o capa blanca de sal. Típica de suelos alcalinos, en climas áridos.
- *Laminar*: láminas planas dispuestas horizontalmente. Presente en suelos compactos.
- *Sin estructura*: cuando no hay desarrollo de agregados.

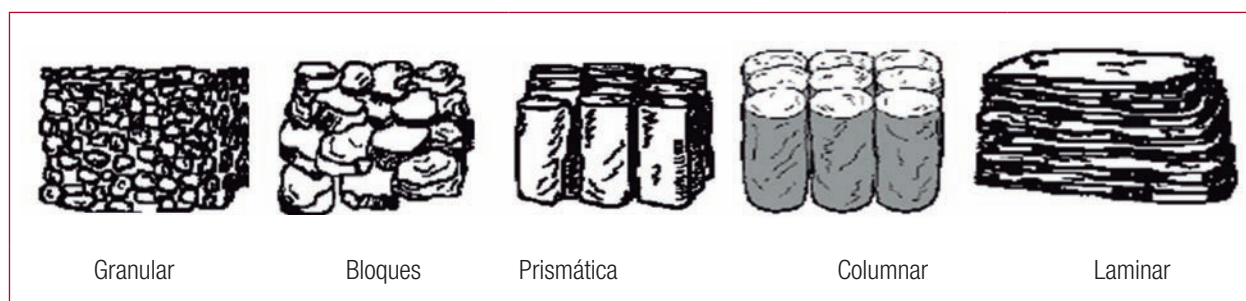


Figura 9. Tipos de estructura.

Fuentes: www.fundesyram.info, www.riunet.upv.es

2.2.4 Estabilidad estructural

Es la resistencia que tienen los agregados del suelo a desintegrarse o romperse por la acción del agua o del laboreo del suelo (Rucks, *et al.*, 2004). La destrucción de los agregados es el primer paso hacia el desarrollo de costras y sellado superficial del suelo. Las costras reducen la velocidad de infiltración del agua e incrementan los riesgos de erosión (Hillel, 1982).

2.2.5 Porosidad

Es el porcentaje del volumen del suelo ocupado por los poros (Rucks, *et al.*, 2004). Por los macroporos circula el aire con oxígeno para las raíces, se infiltra y mueve el agua que llega al suelo y crecen las raíces

de las plantas. En los mesoporos se almacena el agua aprovechable para las plantas y en los microporos se encuentran el Fe y Mn en la forma que pueden ser absorbidos por las raíces (Hillel, 1982).

2.2.6 Densidad del suelo

Es la relación entre la masa seca de las partículas del suelo y su volumen total.

- *La Densidad aparente (Da)*: incluye el espacio poroso (Forsythe, 1985), presenta valores típicos entre 1,0 y 1,7 g/cm³ (Arshad *et al.*, 1996) y puede ser usado como indicador del grado de compactación y de las restricciones para el crecimiento de las raíces (SSS, 1999).

Tabla 7. Densidad aparente del suelo de acuerdo a la textura.

Relación general entre densidad aparente del suelo y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo			
Textura del suelo	Densidades aparentes ideales (g/cm ³)	Densidades aparentes que pueden afectar el crecimiento radicular (g/cm ³)	Densidades aparentes que restringen el crecimiento radicular (g/cm ³)
Arena, areno-franco	< 1,60	1,69	>1,80
Franco-arenosa, franco	< 1,40	1,63	>1,80
Franco-arcilla-arenosa, Franco, Franco-arcillosa	< 1,40	1,60	>1,75
Limosa, franco-limosa	< 1,30	1,60	>1,75
Franco-limosa,	< 1,40	1,55	>1,65
Franco-arcillo-limosa			
Arcillo-arenosa, arcillo-limosa, algunas franco-arcillosas (35-45 % de arcilla)	< 1,10	1,39	>1,58
Arcillosa (>45 % de arcilla)	< 1,10	1,39	>1,47

Fuente: SSS, 1999.

- *La Densidad real (Dr)*: solamente incluye el volumen de las partículas y no incluye el volumen del espacio poroso. El valor promedio en los suelos minerales está alrededor de 2,65 g/cm³ (De Leenheer, 1967; De Boodt, 1965).

2.2.7 Infiltración

Es el fenómeno por medio del cual el agua penetra a través de la superficie, se distribuye y almacena dentro del perfil del suelo (SSS, 1999). La velocidad de infiltración es la cantidad de agua (lámina) que entra en el suelo por unidad de tiempo (Kirkham, 2005). La textura y la estructura afectan el régimen de infiltración y el movimiento del agua hacia la profundidad del suelo: usualmente, los suelos arenosos y las estructuras granulares presentan tasas de infiltración más altas (SSS, 1999).

Tabla 8. Velocidades y clasificación de la infiltración.

Velocidad de infiltración (centímetros por hora)	Clases de infiltración
> 50,80	Muy rápido
15,24 – 50,80	Rápido
50,80 – 15,24	Moderadamente rápido
15,24 – 5,08	Moderado
5,08 – 1,52	Moderadamente lento
1,52 – 0,51	Lento
0,51 – 0,0038	Muy lento
< 0,0038	Impermeable

Adaptado de SSS, 1999.

2.2.8 Conductividad hidráulica saturada

Es la habilidad del suelo saturado de permitir el paso del agua a través de la masa de suelo (Forsythe, 1985). Se utiliza en las ecuaciones de drenaje para determinar la profundidad y espaciamiento de los drenes y las pérdidas por filtración en los canales de conducción de aguas.

Tabla 9. Valores e interpretación de la conductividad hidráulica saturada. Adaptado de SSS, 1993.

Rango cm/hora	Clasificación 1993
< 0,1	Muy baja o moderadamente baja
0,1 a < 0,4	Moderadamente baja
0,4 a < 1,7	Moderadamente alta
1,7 a < 5,4	Moderadamente alta o alta
5,4 a < 10,8	Alta
≥ 10,8	Alta o muy alta

2.3. Ejercicio 1. Análisis del suelo y sus propiedades físicas

Objetivos

1. Reforzar, con base en una serie de preguntas de respuesta abierta, los conceptos relacionados con el suelo, con las propiedades físicas que tienen.
2. Correlacionar algunas de estas propiedades con indicadores de calidad del suelo.

Orientaciones para el facilitador

1. El facilitador saca fotocopias de las preguntas y ejercicios que aparecen en el cuestionario y las entrega a los participantes advirtiéndoles que estas preguntas pretenden reforzar sus conocimientos y no constituyen una evaluación.
2. Al finalizar sus respuestas, los participantes intercambian las hojas de la prueba.

3. Proyectará las respuestas correctas y concederá unos 10 minutos para que cada uno corrija las respuestas dadas por su compañero.
4. Pedirá que aquellos que corrigieron respuestas erradas las compartan con el grupo y se discutirá acerca de esa respuesta.

Recursos necesarios

1. Copia del cuestionario para cada participante,
2. Hoja con el diagrama del triángulo textural,
3. Proyector multimedia para presentar las respuestas correctas,

Orientaciones para los participantes

1. Una vez reciban el formulario, trabajen lo más rápido posible para contestar las preguntas allí formuladas en los 30 minutos de tiempo establecido.
2. Intercambie su hoja de respuesta con un compañero para hacer la corrección con base en las respuestas que presente el facilitador.
3. Corrija las respuestas de sus compañeros.
4. Comparta algunas de aquellas respuestas que han sido mal respondidas.
5. Participe activamente en la discusión.

Prueba de análisis

1. Enumere al menos tres características deseables que usted considere debe tener un suelo para ser considerado bueno para los cultivos.
2. ¿Cuáles son los componentes del suelo? Dibuje un esquema para explicar su respuesta.
3. ¿Cuál es la importancia de la materia orgánica en el suelo?
4. ¿Qué entiende usted por capacidad de campo y punto de marchitez?, ¿Por qué se presentan estas condiciones en el suelo?

Adaptado de: <http://www.fagro.edu.uy/dptos/suelos/Edafologia/index.html>

5. Utilizando el triángulo textural (SSS, 1999), determine la clase textural de cada uno de los horizontes del perfil de suelo cuyo análisis mecánico se presenta a continuación:

Horizontes	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase textural
A	24,0	52,1	23,9	
Bt1	17,6	35,0	47,4	
Bt2	17,9	36,7	45,4	
BC	18,7	44,9	36,4	
C	20,6	48,3	31,1	

6. Algunas propiedades físicas y químicas del suelo se correlacionan con su textura. Indique cuáles de las siguientes propiedades son características propias de las texturas arcillosas y cuáles de las arenosas. (Colocar debajo de cada una de las dos texturas extremas que siguen los números de las propiedades que correspondan).

Nº	Propiedad	Textura arcillosa	Textura arenosa
1	Buena aireación		
2	Fácil laboreo		
3	Mayor porosidad total		
4	Mayor fertilidad potencial del suelo		
5	Alta capacidad de retención de agua		
6	Menor velocidad de infiltración del agua en el suelo		
7	Mayor conductividad hidráulica		
8	Alta capacidad de adsorción de cationes		

7. Enumere al menos tres atributos de una buena estructura del suelo.
8. ¿Cuál es la diferencia entre densidad aparente y densidad real del suelo?, ¿cuál de ellas considera sea más útil para caracterizar los suelos?, ¿por qué?
9. ¿Para que considera usted es importante conocer la velocidad de infiltración del agua en el suelo?

10. ¿Para usted qué significa que un suelo tenga una conductividad hidráulica alta o baja?

2.4 Propiedades químicas del suelo

Fassbender (1982) define la química de los suelos como aquella parte de la edafología que estudia la composición, las propiedades y las reacciones químicas de los suelos.

Los elementos esenciales para el desarrollo de las plantas son dieciséis, divididos en minerales y no minerales (PPI. 1997). Cuando son insuficientes en la planta, pueden producir graves alteraciones y reducir su crecimiento (Navarro 2003).

Tabla 10. Nutrimientos esenciales para la planta.

Para todas		Para algunas	
En cantidades relativamente grandes		En cantidades relativamente pequeñas	
Extraídos por lo general del aire o agua del suelo	Extraídos de los sólidos del suelo	Extraídos de los sólidos del suelo	Extraídos de los sólidos del suelo
1. Carbono 2. Hidrógeno 3. Oxígeno	4. Nitrógeno 5. Fósforo 6. Potasio 7. Calcio 8. Magnesio 9. Azufre	10. Hierro 11. Manganeso 12. Boro 13. Molibdeno 14. Cobre 15. Zinc 16. Cloro	17. Sodio 18. Silicio 19. Cobalto 20. Vanadio

Fuente: Navarro 2003

2.4.1 El intercambio iónico

Un ión es un átomo o molécula con carga. Se llama anión si la carga es negativa y catión si la carga es positiva (Keenan y Wood 1971).

Intercambio iónico es el proceso reversible mediante el cual la fase sólida toma iones de la solución del suelo al tiempo que le entrega cantidades equivalentes de otros, para establecer un nuevo equilibrio entre las dos fases (Jaramillo 2002).

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) es la capacidad del suelo para retener e intercambiar cationes y depende del número de cargas negativas existentes en la superficie de la arcilla y de la materia orgánica (Zhang y Zhao, 1997).

2.4.2 Saturación de bases

Según Castro, (1998), es el porcentaje del total de la CIC ocupado por los cationes Calcio (Ca^{++}), Magnesio (Mg^{++}), Potasio (K^+) y Sodio (Na^+).

$$\% \text{ Saturación de bases} = \frac{Ca^{++} + Mg^{++} + K^+ + Na^+}{CIC} \times 100$$

2.4.3 pH del suelo

Expresa la actividad de los iones hidrógeno en la solución del suelo. Según el método de determinación del pH, los suelos se clasifican de acuerdo a su valor así:

Tabla 11. Interpretación del pH del suelo de acuerdo al método de determinación.

pH determinado en agua 1:1		pH determinado en KCl 1:1, P:V	
Valor	Calificación*	Valor	Calificación**
< 3,5	Ultra ácido	< 4,0	Extremadamente ácido
3,5 - 4,4	Extremadamente ácido	4,0 - 4,9	Fuertemente ácido
4,5 - 5,0	Muy fuertemente ácido	5,0 - 5,9	Moderadamente ácido
5,1 - 5,5	Fuertemente ácido	6,0 - 6,9	Ligeramente ácido
5,6 - 6,0	Moderadamente ácido	7,0	Neutro
6,1 - 6,5	Ligeramente ácido	7,1 - 8,0	Ligeramente alcalino
6,6 - 7,3	Neutro	8,1 - 9,0	Moderadamente alcalino
7,4 - 7,8	Ligeramente alcalino	9,1 - 10,0	Fuertemente alcalino
7,9 - 8,4	Moderadamente alcalino	> 10,1	Extremadamente alcalino
8,5 - 9,0	Fuertemente alcalino		
> 9,0	Muy fuertemente alcalino		

* Según Soil Survey Division Staff (SSDS, 1993)

** Según Fassbender (1982)

Es importante conocer el pH del suelo porque afecta la estabilidad estructural, define la presencia y abundancia de los microorganismos del suelo y determina la disponibilidad de nutrimentos minerales para las plantas como se observa en la Figura 10. El valor ideal para la mayoría de los cultivos está entre 5.5 y 6.5 (FAO, 2009; Dorronsoro, 2011).

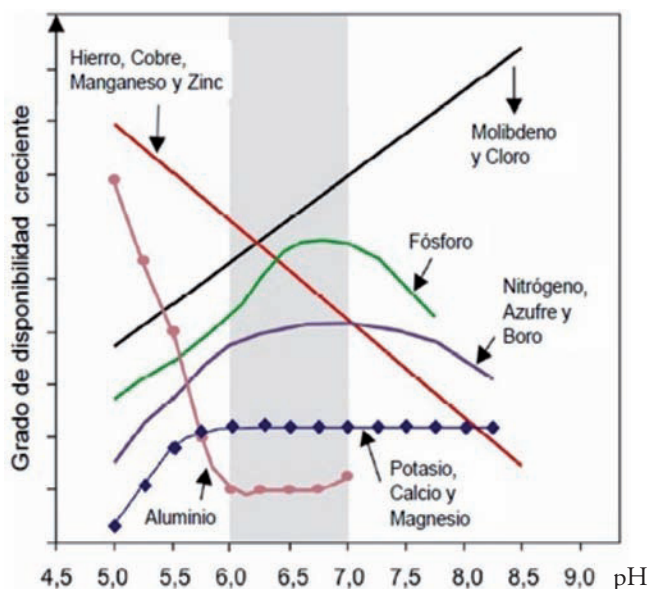


Figura 10. Efecto del pH del suelo sobre la disponibilidad de los nutrimentos. Fuente: Malavolta *et al.*, 1997.

2.5 Ejercicio 2. Prueba para el análisis de las propiedades químicas de los suelos

Objetivo

Reforzar los conceptos relacionados con las propiedades químicas que tienen los suelos con base en una serie de preguntas de respuesta abierta.

Orientaciones para el facilitador

1. Entregará copias de las preguntas que aparecen en el cuestionario a los participantes advirtiéndoles que estas preguntas pretenden reforzar sus conocimientos y no constituyen una evaluación.

- Al finalizar sus respuestas, los participantes intercambian las hojas de la prueba.
- Proyectará las respuestas correctas y concederá 10 minutos para que cada uno corrija las respuestas dadas por su compañero.
- Pedirá que aquellos que corrigieron respuestas las compartan con el grupo y se discutirá acerca de tales respuestas.

Recursos necesarios

- Copia del cuestionario para cada participante.
- Proyector multimedia para exponer las respuestas correctas.

Orientaciones para los participantes

- Una vez reciban el formulario trabajen lo más rápido posible para contestar las preguntas allí formuladas en un tiempo de 10 minutos.
- Intercambie su hoja de respuesta con un compañero para hacer la corrección con base en las respuestas que presente el facilitador.
- Corrija las respuestas de sus compañeros.
- Comparta algunas de aquellas respuestas que han sido mal respondidas.
- Participe activamente en la discusión.

Prueba de análisis

- De los llamados macronutrientes y micronutrientes, ¿cuáles considera usted que son los más importantes para las plantas?, ¿por qué?
- En su criterio, ¿cuáles atributos debería tener un suelo fértil? Enumere al menos cuatro de ellos.
- ¿Por qué considera usted que es importante conocer el valor de la CIC?
- ¿Con cuáles atributos y/o limitaciones asocia usted un suelo de pH ácido?
- ¿Qué atributos y/o problemas podría tener un suelo con pH básico (alcalino)?
- ¿Cuál valor de pH considera usted sea el más adecuado para el crecimiento de las plantas?, ¿Por qué?

2.6 Estudio de suelos para la siembra de la palma de aceite

Un estudio o levantamiento de suelos es un procedimiento orientado a conocer los tipos de suelos en el área de estudio, sus características más importantes, clasificarlos, delimitarlos, representarlos en un mapa temático e interpretar su aptitud de uso (SSS, 1999; Paramanathan, 2008). Su resultado es la herramienta básica para identificar las Unidades de Manejo Agronómico, UMA.

2.6.1 Tipos de estudios

Malagón (1998) y Paramanathan, (2008), los clasifican de acuerdo al nivel de detalle o tamaño de la escala. Las equivalencias en área de algunas escalas se observan en la Tabla 12.

Tabla 12. Equivalencia en área de 1 cm² en la escala

Escala	Área (ha)
1:500.000	2,500
1:100.000	100
1:25.000	6,25
1:10.000	1

- Exploratorio o general: proporcionan una visión rápida y económica de la distribución geográfica de los suelos encontrados en una región relativamente grande. La escala varía entre 1:100.000 y 1:250.000.
- Semidetallados: proporcionan información sobre la variabilidad, características y distribución de los tipos de suelos. Se utilizan, entre otros, para estudios de prefactibilidad de riegos y drenajes. Se usan escalas 1:25.000.
- Detallados: proporcionan información a nivel de series de suelos. Se utilizan para una planificación detallada de las prácticas de cultivo a implementar en la plantación. Se usan escalas 1:10.000.

2.6.2 Procedimiento para el levantamiento de suelos

Según Arias, *et al.*, (2009), la ejecución se basa en los siguientes aspectos:

- Recopilación de información. Se obtiene una primera aproximación a la zona de estudio mediante la búsqueda de fotografías, mapas y estudios realizados con relación a suelos, clima, flora y fauna, población y condiciones socioeconómicas (Figura 11a).
- Interpretación de la información. Se determinan las formas del relieve y se plantean algunos tipos de suelos asociados con él (Figura 11b).

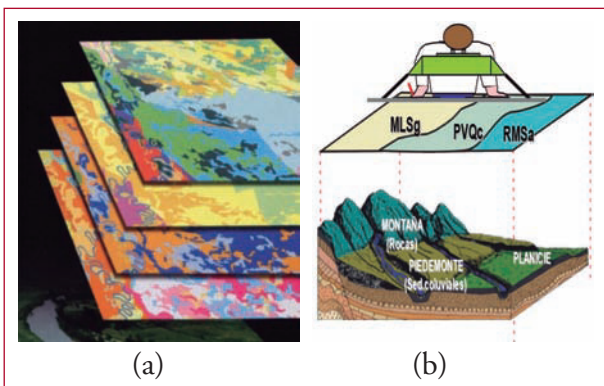


Figura 11. (a) recopilación y (b) interpretación de información.

- Trabajo de campo. Mediante muestreos con barreno, cajuelas y calicatas se evalúan las características físicas y químicas del suelo para verificar las unidades de suelos propuestos en la etapa anterior (Figura 12a).

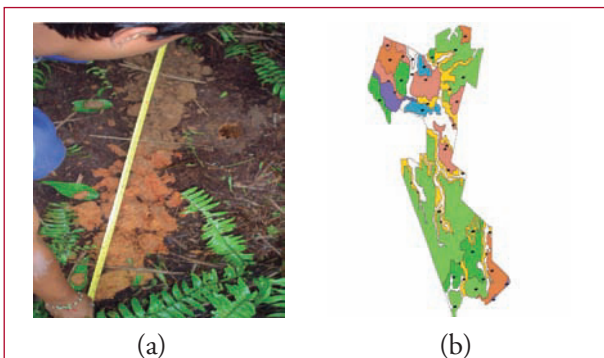


Figura 12. (a) Trabajo de campo y (b) de oficina.

- Trabajo de oficina y laboratorio. Las muestras tomadas se envían al laboratorio, se interpretan y se mapean todos los resultados obtenidos para delimitar áreas homogéneas, base para la conformación de UMA (Figura 12b).

En la presente unidad de aprendizaje trataremos lo relacionado con el trabajo de campo.

2.6.3 Muestreo del suelo o trabajo de campo

Munévar y Franco (2002) recomiendan tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Delimitar las áreas homogéneas de acuerdo a su topografía, drenaje, profundidad, color, manejo de la fertilización, historial de cultivos.
- Tamaño de la unidad de muestreo. Cada muestra de suelo debe representar entre 10 y 15 hectáreas. Si el suelo es bastante homogéneo, la muestra puede representar un área mayor; en caso contrario, representará menos hectáreas. Cada muestra debe representar a una UMA.
- Número de submuestras. Una muestra está compuesta por 15 a 20 submuestras.
- Época de muestreo. Realizarlo con anticipación a la siembra de la palma para disponer de suficiente tiempo para la adecuación del terreno.
- Profundidad de muestreo. Es aquella donde ocurre el máximo desarrollo radicular. Para el caso de la palma de aceite serán los primeros 30 cm de la superficie, tomando muestras en cada uno de los horizontes que se encuentren en la mencionada profundidad.

2.7 Ejercicio 3. Descripción de los perfiles de suelo

Objetivos

1. Desarrollar destreza visual y táctil para separar horizontes del suelo con base en algunas de sus propiedades físicas.

2. Analizar, con los resultados obtenidos, las posibles ventajas o desventajas que tendrían para el nuevo cultivo de palma las condiciones físicas encontradas.

Orientaciones para el facilitador

1. Una vez estén ubicados en el sitio en el que se realizará la práctica, el facilitador motivará al grupo para recordar de forma participativa las principales propiedades físicas de los suelos y la importancia de realizar una correcta caracterización del perfil de suelo.
2. Explicará al grupo que la práctica está dividida en dos etapas, una que se realiza a nivel de campo y la otra, con lo hecho en campo, en el aula o salón de clase.
3. Indicará a los participantes que deben formar grupos de 4 o 5 personas con el fin de que todos participen y suministrará los materiales necesarios para el desarrollo de la práctica.
4. Distribuirá los grupos al azar o dará la opción a cada grupo de escoger su ubicación para la realización de la práctica, teniendo en cuenta que cada grupo se ubique en un paisaje diferente.
5. Estará atento a las actividades realizadas por cada grupo, motivando así la participación de todos los integrantes.

Recursos necesarios

Tiempo total de la práctica: 8 horas

Materiales necesarios para observar las propiedades físicas del suelo:

- Cinta métrica
- Pala ancha
- Varilla metálica delgada (2 a 3 mm de diámetro), de unos 50 cm de largo, preferiblemente con punta
- Agua para limpieza de herramientas
- Hoja de trabajo
- Mapa del lote en donde se delimiten las áreas homogéneas de acuerdo a su topografía, drenaje, profundidad, color, entre otros, elaborado previamente en la oficina

- Anillo metálico de diámetro y altura conocidos
- Mazo
- Bloque de madera
- Palita de jardinero
- Cuchillo de hoja ancha
- Bolsas de plástico y marcador
- Tazón o pocillo refractario
- Balanza de precisión (precisión 0,1 g)
- Horno microondas

Instrucciones para el participante

A. Etapa de campo

Tiempo necesario: 4 horas

Una vez el grupo se ubique en el paisaje asignado, los participantes procederán a leer detenidamente la guía de la práctica y procederán a su desarrollo de la siguiente manera (SSS, 1999):

1. Haga una cajuela de 50x50x50 cm (alto, ancho y profundo) en un sitio representativo del paisaje asignado.
2. Usando la pala ancha corte una tajada de suelo de la pared de la cajuela y deposítela en el piso.

Nota: a partir de este punto, ingrese a la hoja de trabajo de datos de suelo, anexo técnico 1, la información obtenida.

3. Mida la profundidad de cada uno de los horizontes observados.
4. Observe los cambios de color, descendiendo desde la superficie, a lo largo del perfil.
5. Observe la presencia de raíces de las plantas en la cajuela y en la muestra de suelo. Fíjese en características como abultamiento de las raíces, raíces que crecen hacia los costados a causa de la presencia de una capa dura o una capa compactada.
6. Determine la resistencia a la penetración usando la varilla metálica.

Chequee una de las paredes laterales (que no reciba directamente la luz solar), desde la superficie hasta

el fondo (Figura 13), determinando dónde ocurren cambios o diferencias en resistencia a la penetración o compactación.

Fíjese si hay capas compactadas que puedan restringir el crecimiento radicular o el movimiento del agua.



Figura 13. Determinación cualitativa de la resistencia a la penetración.

7. Observe la estructura del suelo hasta aproximadamente 30 cm de profundidad. Reconozca y registre el tipo, tamaño y consistencia de las unidades estructurales del suelo o agregados para cada horizonte del suelo, de acuerdo a las figuras 14 y 15.

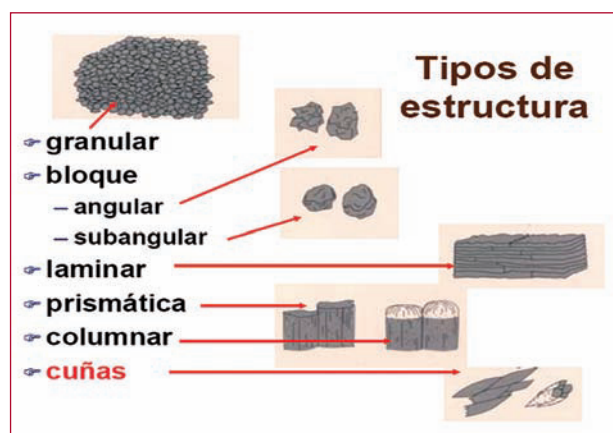


Figura 14. Tipos de estructura del suelo. Fuente Casanova *et al.*, 2007.

	<p>Sin estructura: evidente falta de cohesión</p>
	<p>Débil: los agregados rompen con una ligera presión</p>
	<p>Moderada: los agregados se rompen con considerable presión, "abollando" los dedos antes de romperse.</p>
	<p>Fuerte: los agregados no pueden destruirse con los dedos</p>

Figura 15. Consistencia de los agregados *in situ*. Fuente: Casanova, *et al.*, 2007.

8. Determine la clase textural del suelo por el método del tacto, para los horizontes superficiales del suelo, con ayuda del diagrama de la Figura 16.

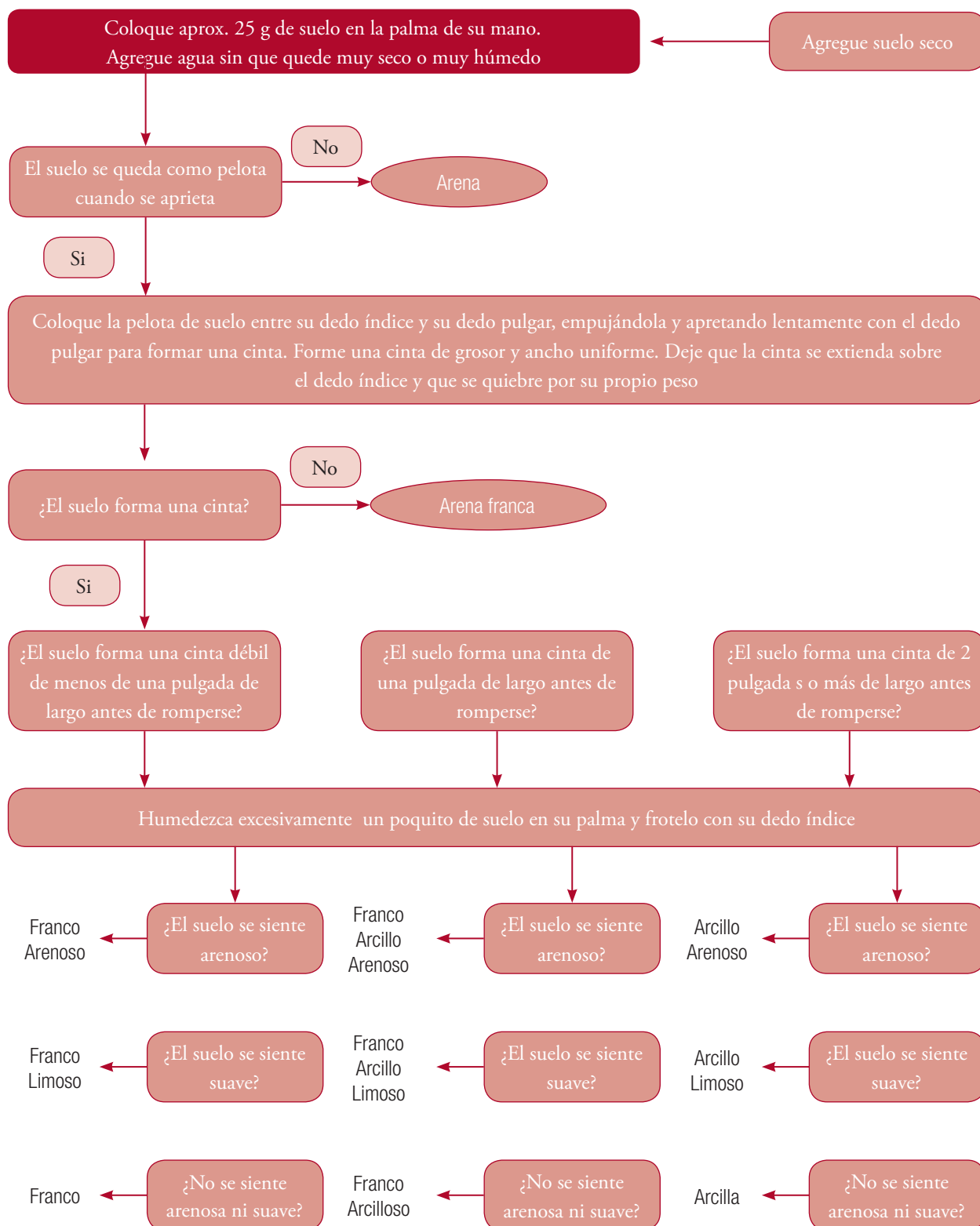

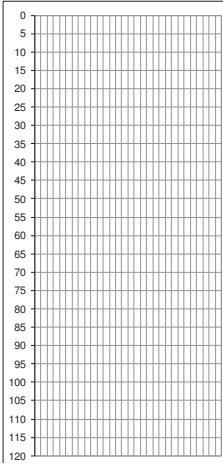


Figura 16. Determinación de la textura del suelo en el campo.

Anexo técnico 1.

Hoja de trabajo para registrar variables durante la descripción de perfiles de suelo. Para el ejercicio, en la Zona Suroccidental palmera

		CORPORACIÓN CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN PALMA DE ACEITE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS POR TIPO DE PAISAJE. ZONA SUROCCIDENTAL										
Día:	Mes:	Año:	Nº de Observación:			Características edáficas:						
					Regimen de humedad:		Regimen de temperatura:					
Tipo de observación:		Descrito por:			Encharcamiento							
Finca:		Propietario:			Inundación		Frecuencia:		Duración:			
Vereda o sector:					Presencia de nivel freático:			Profundidad:				
					Profundidad efectiva:							
Características ambientales					Limitante en profundidad:							
Paisaje:		Relieve:			Drenaje:							
Altitud:		Clima ambiental:		Pendiente:		Interno:						
Vegetación natural predominante:					Externo:							
Uso actual del suelo:					Natural:							
Horizonte (Nomenclatura y profundidad)	Color	Moteados (Forma y tamaño)	Estructura	Consistencia			Textura	Poros (Forma y Tamaño)	Presencia de raíces	Presencia de organismos	Límite	Ilustración del perfil
				Seco	húmedo	Mojado						
												
Observaciones:												

9. Determine la densidad aparente.

En una de las caras laterales de la cajuela elaborada:

- **Entierre el anillo en el suelo**

Usando un mazo y el bloque de madera, introduzca un anillo de diámetro y altura conocidos (Figura 17), con el borde biselado hacia abajo, hasta que quede a ras del piso.

Nota: use la varilla de metal para sondear la profundidad de una zona compactada. Si encuentra una, excave hasta el techo de ese sector y deje una superficie pareja. Proceda como en el punto 1.



Figura 17. Introducción de anillo en el suelo

- **Remueva el anillo**

Cave alrededor del anillo, con una palita de jardinero debajo de este, y levántelo con cuidado previniendo pérdidas de suelo.

- **Remueva el exceso de suelo**

Retire los excedentes de suelo de la muestra con un cuchillo de hoja ancha, Figura 18. La base de la muestra deberá ser plana, cortada y nivelada siguiendo los bordes del anillo.

- **Coloque la muestra en una bolsa y llene la etiqueta**

Toque la muestra lo menos posible. Usando el cuchillo de hoja ancha empuje la muestra den-

tro de una bolsa de plástico con cierre. Asegúrese de que toda la muestra ha sido introducida en la bolsa. Cierre y etiquete la bolsa.

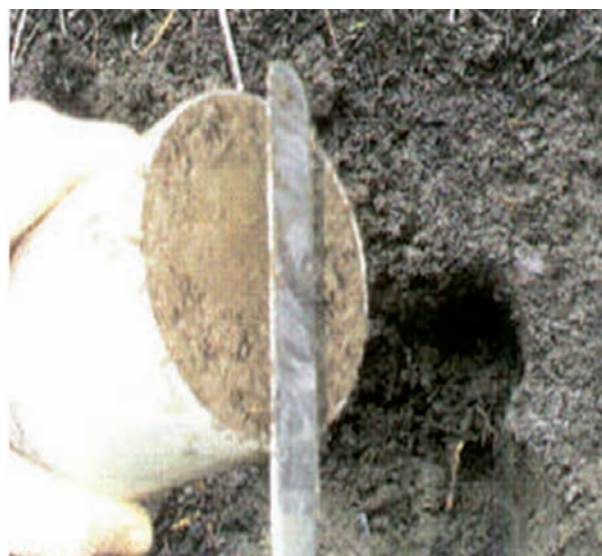


Figura 18. Remoción del exceso de suelo

B. Etapa de aula o salón

Tiempo de duración: 2 horas

1. Pese y registre la muestra

Pese la muestra del suelo en su bolsa (si la bolsa es demasiado pesada para la balanza, transfiera aproximadamente la mitad hacia otra bolsa de plástico; el peso de las dos bolsas deberá ser sumado). Registre el peso en la hoja de trabajo de datos de suelos.

Pese una bolsa de plástico vacía para calcular el peso exacto de la muestra. Registre el peso (suma de dos bolsas de plástico vacías, si correspondiere) en la hoja de trabajo.

2. Tome una submuestra para determinar el contenido de agua y el peso del suelo seco

- Mezcle bien la muestra “amasándola” con los dedos.
- Tome una submuestra (no compactada) de la bolsa de plástico y póngala en el pocillo refractario.

3. Pese y registre la submuestra

Pese la submuestra de suelo en el pocillo refractario. Registre el peso en la hoja de trabajo de datos de suelo.

Pese el pocillo refractario vacío. Ingrese el peso en la hoja de trabajo de datos de suelo.

4. Seque la submuestra

Ponga el pocillo refractario que contiene la submuestra en un microondas y séquela con dos o más

ciclos de cuatro minutos a intensidad máxima. Abra el microondas por un minuto para permitir la ventilación. Pese la submuestra seca en su pocillo refractario y registre el peso en la hoja de trabajo de datos de suelo.

Nota: para determinar si el suelo está seco, pese la muestra y registre su peso luego de cada ciclo de 4 minutos. Cuando el peso no cambie luego de un ciclo de secado, el suelo está seco.

5. Calcule la densidad aparente y medidas relacionadas

- Contenido gravimétrico de agua del suelo (g/g)

$$= \frac{\text{Peso del suelo húmedo} - \text{Peso del suelo secado en el horno}}{\text{Peso del suelo secado en el horno}}$$

- Densidad aparente del suelo $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = \frac{\text{peso del suelo secado en el horno}}{\text{volumen del suelo}}$

- Espacio de poros ocupado por agua (%) = $\frac{\text{Contenido de agua en volumen}}{\text{Porosidad del suelo}} \times 100$

- Contenido de agua en volumen (g/cm³) =

Contenido de agua en el suelo g/g x densidad aparente (g/cm³)/densidad del agua

- Porosidad del suelo (%) = $1 - \frac{(\text{densidad aparente del suelo})}{2,65}$

Información de retorno

1. Una vez terminado el tiempo de la práctica, el facilitador invitará a cada grupo de trabajo a nombrar un vocero que describa a los demás grupos las observaciones elaboradas durante la descripción del perfil de suelo asignado.
2. Una vez se describan todos los perfiles, el facilitador propondrá a los subgrupos que realicen un agrupamiento de perfiles por su similitud, para conformar unidades de manejo de suelos similares y para que proyecten las ventajas o desventajas que podrían tener para el nuevo cultivo de palma las condiciones físicas encontradas en el suelo.
3. Nuevamente el vocero de cada grupo presentará en una plenaria el resultado del trabajo realizado, explicando las razones para agrupar los diferentes perfiles de suelo.
4. Al final de la intervención de todos los subgrupos, el facilitador promoverá una discusión para unificar los criterios de agrupamiento de los perfiles.
5. Preguntará al grupo sobre los inconvenientes encontrados para el desarrollo de la práctica y motivará a encontrar otras alternativas de muestreo que se podrían emplear.
6. Invitará a los asistentes a la capacitación a que expresen sus opiniones sobre la práctica realizada.

Ejercicio 4. Medición de la infiltración del agua en el suelo con el infiltrómetro de doble anillo

Objetivos

1. Apropiar el conocimiento sobre la manera de medir la velocidad de infiltración del agua en el campo, valiéndose de la metodología del infiltrómetro de doble anillo.
2. Interpretar los resultados obtenidos y definir acertadamente el sistema de labranza del suelo a implementar en el área donde se establecerá el nuevo cultivo de la palma de aceite.

Orientaciones para el facilitador

1. Analizará si las condiciones de campo son aptas para realizar la práctica de infiltración (ya que se pueden presentar condiciones de exceso de agua por las condiciones climáticas el día de la práctica) y, una vez estén ubicados en el sitio en el que se realizará la práctica, motivará al grupo para recordar de forma participativa la importancia de conocer la velocidad de infiltración del agua en el suelo para el establecimiento del nuevo cultivo.
2. Explicará al grupo que la práctica está dividida en dos etapas, una que se realiza a nivel de campo y la otra, con lo hecho en campo, en el aula o salón.
3. Indicará a los asistentes a la capacitación que deben formar grupos (preferiblemente de 4 o 5 personas, con el fin de que todos participen) y suministrará los materiales necesarios para el desarrollo de la práctica.
4. Distribuirá los grupos al azar o dará la opción a cada grupo de escoger su ubicación para la realización de la práctica, teniendo en cuenta que cada grupo se ubique en un paisaje diferente.
5. Estará atento a las actividades realizadas por cada grupo, motivando a la participación de todos los integrantes.

Recursos necesarios

Tiempo total para la práctica: 4 a 6 horas

- Anillos de hierro o acero de 20 y 30 cm de diámetro y 30 cm de altura*
- Bloque de madera de 40 cm de largo
- Mazo o martillo grande
- Nivel
- Plástico de calibre mediano
- Caneca con agua
- Baldes plásticos de 10 l de capacidad
- Regla metálica de 30 cm de longitud
- Cronómetro o programador de horario
- Hoja de trabajo

* El diámetro de los anillos más utilizados varía entre 20 y 25 cm para el anillo interior y 30 a 35 cm para el anillo exterior. Bouwer (1982).



Figura 19. Recursos necesarios para una prueba de infiltración

Instrucciones para el participante

A. Etapa de campo

Tiempo necesario: 3 horas

Una vez el grupo se ubique en el paisaje asignado, los participantes procederán a leer detenidamente la

guía de la práctica y procederán a su desarrollo de la siguiente manera: Bouwer, 1982, SSS, 1999.

1. Introduzca los anillos en el suelo

En un sitio cercano a la cajuela en donde se describió el perfil del suelo, procediendo así:

- Limpie el área de residuos superficiales y corte la vegetación tan cerca de la superficie como sea posible.
- Coloque sobre la superficie limpia el anillo de mayor diámetro, con el borde biselado hacia abajo. Coloque sobre el anillo el bloque de madera.
- Golpee con el mazo en el centro del bloque de madera para introducir el anillo en el suelo, hasta una profundidad entre 5 y 10 cm, para alterar lo mínimo el suelo (Figura 20).



Figura 20. Introducción del anillo exterior en el suelo

- En el interior del anillo ya clavado, centre el anillo de menor diámetro e introdúzcalo en el suelo hasta la misma profundidad del anillo exterior (Figura 21).
- Con ayuda del nivel, asegúrese de que los anillos no queden ladeados, para evitar fugas de agua.
- Instale la regla metálica en el interior del anillo central, recostada contra el anillo, profundizándola unos 2 cm en el suelo.



Figura 21. Anillos interior y exterior instalados

Consideraciones

Si el suelo está saturado, no se produce infiltración. Espere uno o dos días para que se seque un poco.

2. Afirme el suelo

Con los anillos ubicados en su sitio, afirme suavemente el suelo con los dedos, solamente alrededor de los bordes internos de los anillos, para prevenir filtraciones adicionales.

3. Cubra el anillo central con plástico

Cubra con una lámina de plástico el anillo central y la superficie del suelo dentro de él (Figura 22). Este procedimiento evita disturbar la superficie del suelo por el impacto del agua sobre el suelo desnudo al momento de agregar el agua.



Figura 22. Cubrir con plástico el anillo central

4. Agregue agua

Clavados los anillos, llene cuidadosamente los anillos con agua, empezando siempre con el anillo exterior. Los anillos deben llenarse hasta el mismo nivel, a una altura de la columna de agua de unos 20 cm, como lo ilustra la Figura 23.



Figura 23. Agregue agua a los anillos

5. Remueva el plástico y registre la altura de la columna de agua

Saque la cobertura de plástico del anillo central tirando con cuidado hacia fuera (Figura 24), dejando el agua dentro del anillo. Anote en la hoja de trabajo, anexo técnico 2, la altura de la columna de agua (nivel alcanzado en la regla metálica) en el anillo central. Este será el punto de partida de la prueba de infiltración: altura del agua en el tiempo cero de la prueba.

6. Registre la variación del nivel de la columna de agua en el tiempo

Registre en la hoja de trabajo la altura del nivel de agua hasta el tiempo en que la tasa de infiltración llegue a ser constante: tiempos 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30, 45, 60, 90 y 120 minutos (o más) de iniciar la prueba.

Asegúrese de que el nivel del agua en los anillos no disminuya por debajo de 5 cm, para lo cual, de

ser necesario, inmediatamente después de realizar la lectura a determinado tiempo, adicione nuevamente agua a los anillos, registre en la columna cambio el nuevo nivel alcanzado por el agua en la regla y continúe con las lecturas en los tiempos siguientes (Figura 25).



Figura 24. Remoción del plástico



Figura 25. Inicio de la prueba de infiltración

¿Lo sabía?

La velocidad de infiltración es una medida de qué tan rápido penetra el agua en el suelo. Si lo hace lentamente, puede provocar anegamiento en terrenos planos o erosión por escurrimiento en campos en pendiente.

7. Repita la medición en dos o tres sitios cercanos

Debido a la heterogeneidad de los suelos es necesario repetir la medición en varios sitios para tener resultados confiables. Lo anterior se puede realizar de manera simultánea si se dispone de varias baterías de anillos infiltrómetros.

Comercialmente se consiguen baterías de 3 anillos infiltrómetros que vienen acompañados de una cruceta o tapa de conducción de esfuerzos que permite clavar los dos anillos simultáneamente hasta la misma profundidad.

Nota: si se sospecha la presencia de capas impermeables en la superficie del suelo, es necesario retirar esta capa y realizar la medición de la infiltración en el horizonte subsiguiente.

B. Etapa de aula o salón

Tiempo necesario 2 horas

1. Calcule la cantidad de agua infiltrada

En la columna *Diferencia* de la hoja de trabajo, registre el valor correspondiente a la resta del nivel de agua entre dos tiempos consecutivos de lectura, a partir del tiempo 1: al tiempo 1 le corresponde la diferencia entre el tiempo 1 y el tiempo 0 y así sucesivamente.

2. Calcule la infiltración

Totalice la suma de los valores de la columna *Diferencia*. La infiltración, medida en milímetros hora⁻¹, se calcula con la fórmula:

$$\text{Infiltración} = (\text{mm infiltrados} / W) * 60$$

Siendo W el tiempo transcurrido hasta la estabilización de la tasa de infiltración.

3. Interprete el resultado de acuerdo a la tabla.

Información de retorno

1. Una vez terminado el tiempo de la práctica, el facilitador invitará a cada grupo de trabajo a nombrar un vocero que describa a los demás grupos las observaciones elaboradas durante la práctica en el paisaje asignado.
2. Una vez finalice la presentación de los grupos, el facilitador propondrá a los subgrupos que confronten, con la práctica anterior, si los resultados obtenidos permiten mantener las unidades de suelos similares conformadas, teniendo ahora en cuenta la velocidad de infiltración.
3. Nuevamente el vocero de cada grupo contará a los demás el resultado del trabajo realizado, explicando las razones técnicas para tomar las decisiones.
4. Al final de la intervención de todos los subgrupos, el facilitador promoverá una discusión para unificar los criterios y para agrupar los suelos de acuerdo a las características que sean similares para algunos de ellos.
5. Preguntará al grupo sobre los inconvenientes encontrados para el desarrollo de la práctica y motivará a encontrar otras alternativas de medición que se podrían emplear.
6. Invitará a los participantes a que expresen sus opiniones sobre la práctica realizada.

Anexo técnico 2.

Hoja de trabajo para la medición de la infiltración.

FORMATO DE INFILTRACIÓN. CENIPALMA									
Plantación				Lote			Fecha		
Tiempo de lectura minutos	Prueba 1			Prueba 2			Prueba 3		
	Altura agua	Cambio	Diferencia	Altura agua	Cambio	Diferencia	Altura agua	Cambio	Diferencia
0									
1									
2									
3									
4									
5									
10									
15									
20									
30									
45									
60									
90									
120									
150									
Observaciones:									

Ejercicio 5. Toma de muestras para determinar las propiedades químicas del suelo

Objetivo

Lograr que los participantes apropien el conocimiento sobre la manera de realizar muestreos de campo correctos para determinaciones de química de suelos.

Orientaciones para el facilitador

1. El facilitador realizará un recorrido previo del lote en el cual desarrollará la práctica y estimará el tiempo que tardó en su ejecución. Basado en lo anterior, asignará el espacio de tiempo que deberá durar la práctica.
2. Es conveniente que el facilitador motive al grupo y lo interese en la práctica que va a realizar, para lo cual se podría valer de ayudas como hacer un pequeño recuento, de no más de 5 a 10 minutos sobre la importancia de realizar un adecuado muestreo de suelos y la utilidad de usar esta herramienta antes de establecer el nuevo cultivo de palma o, hacer una serie de preguntas orientadoras, (autoevaluación) sobre el tema que trata la práctica.
3. Dividirá el grupo en 2 o 3 subgrupos de participantes y los distribuirá en un paisaje diferente del terreno. Dará a cada subgrupo diferentes herramientas para tomar las muestras de suelo.
4. Estará atento durante el desarrollo de la práctica a los posibles “errores de muestreo” en que hayan incurrido los participantes y lo comunicará al momento de la retroalimentación.

Recursos necesarios

Tiempo: el estimado por el facilitador en el recorrido previo. Tentativo 4 horas

Las herramientas necesarias, algunas de las cuales se observan en la Figura 26 son:

- Barrenos de diferente corte
- Palín

- Machete
- Cuchillo
- Balde plástico*
- Bolsas plásticas
- Marcadores
- Hojas para identificar las muestras
- Plano de campo con los sitios de muestreo identificados
- Hoja de campo para anotar detalles u observaciones
- Formato de solicitud de servicio al LAFS de Cenipalma
- Formato para remisión de muestras

* Los baldes de metal pueden contaminar la muestra, especialmente para análisis de micronutrientes

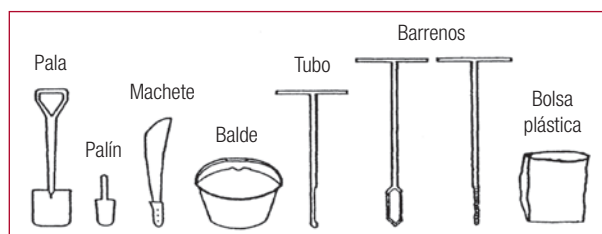


Figura 26. Algunas herramientas para la toma de muestras de suelo

Instrucciones para el participante

Una vez tenga en su poder las herramientas necesarias, proceda a realizar el muestreo siguiendo los pasos enumerados a continuación:

Paso 1

- Diríjase a la zona o paisaje de muestreo asignada, y, enseguida, a cada uno de los sitios de muestreo para recolectar las submuestras.
- En cada sitio de muestreo limpie la superficie removiendo únicamente los residuos vegetales y la cobertura viva que haya sobre el suelo (Munévar y Franco, 2002) y tome la muestra.
- Diríjase al siguiente sitio de muestreo, haciendo un recorrido por el lote en forma de *zigzag* (Figura 27),

hasta recolectar entre 15 y 20 submuestras por cada zona o paisaje (Munévar y Franco, 2002).

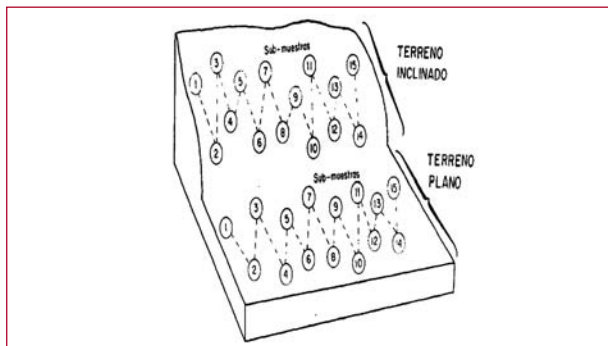


Figura 27. Recorrido del lote en zigzag.

Paso 2

Si usa pala, según Coraspe y Tejera (1996):

- Haga un hueco en forma de V, del ancho de la pala utilizada, a la profundidad deseada para el muestreo.
- Corte una tajada de suelo de 2 a 3 centímetros de espesor, en una de las paredes inclinadas del hueco. Figura 28(a)
- Elimine los bordes laterales de la tajada de suelo y deje una faja central de 3 a 5 centímetros de ancho. Figura 28(b) e introdúzcala en un balde limpio, Figura 28(c).

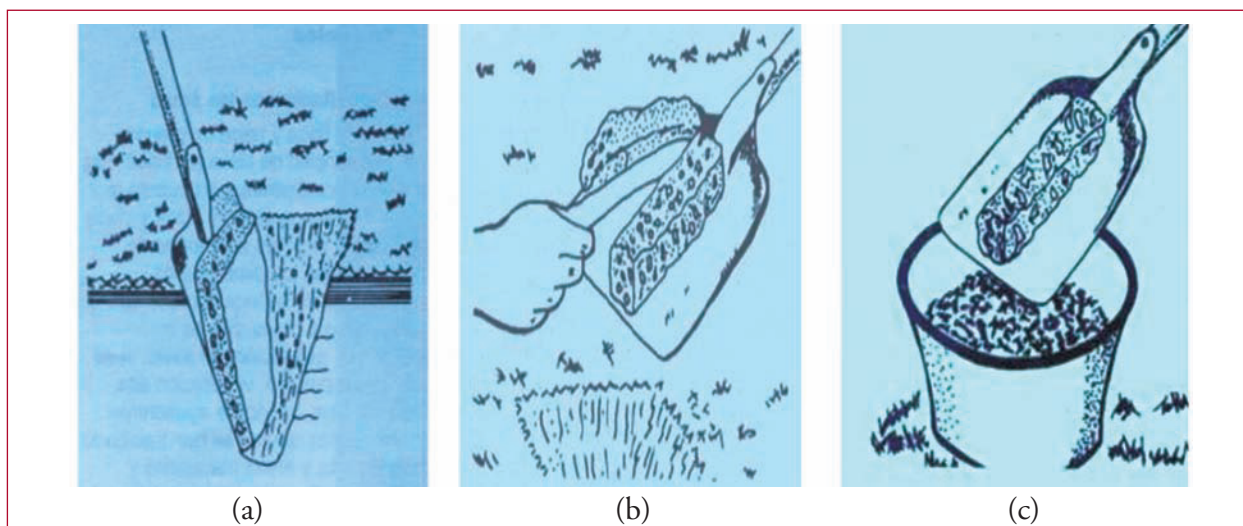


Figura 28. Corte de tajada de suelo (a), eliminación de bordes (b) y depósito de la submuestra de suelo en un balde.

- Repita el procedimiento en cada uno de los sitios de muestreo hasta completar de 15 a 20 submuestras que conforman la muestra representativa (Munévar y Franco, 2002).

Si usa barreno:

- Haga una perforación a la profundidad deseada, (Figura 29), en cada uno de los sitios de muestreo y coloque la muestra extraída en un balde limpio.
- Repita el procedimiento en cada uno de los sitios de muestreo hasta completar la muestra representativa (Munévar y Franco, 2002).



Figura 29. Toma muestra con barreno

Precaución: Inpofos (1998) sugiere no tomar muestras de suelos en sitios específicos como:

- La proximidad de cercas, caminos, vías y canales
- Áreas de antiguos canales
- Parches de mal drenaje
- Sitios con deposiciones de animales
- Sitios donde hayan sido colocados residuos de cosechas
- Sitios donde se hayan realizado quemas
- Sitios de acumulación de fertilizantes por deficiencias en su distribución
- En inmediaciones de árboles
- Sitios donde se tenga un cambio de pendiente entre dos UMA

La toma de muestras en estos sitios pueden alterar los resultados del análisis.

Paso 3

Cuando todas las submuestras se encuentran dentro del balde, proceda de la siguiente manera (Inpofos):

- Mezcle manual y uniformemente las submuestras para obtener una mezcla compuesta representativa del área de muestreo (Figura 30).
- Extraiga todas las raíces y otros residuos vegetales o animales
- Rompa los terrones de tierra con los dedos mientras mezcla todo el suelo



Figura 30. Mezcla de submuestras de suelo en el balde.



Importante: se deben analizar por separado muestras de lotes con profundidades diferentes. La mezcla de estas muestras origina errores de interpretación de los resultados (Inpofos, 1998).

Paso 4

- Recoja con las manos el suelo mezclado y coloque alrededor de 1.500 gramos en bolsas plásticas (Figura 31a). Divida la cantidad de suelo extraído en dos porciones iguales: destine una como muestra para enviar al laboratorio y guarde la otra como contramuestra.
- Empaque las muestras y contramuestras en bolsas plásticas.
- Identifique las muestras mediante una etiqueta, llenando toda la información solicitada por el laboratorio (Figura 31b). Introduzca la etiqueta entre la bolsa original y otra que la recubra (Inpofos, 1998).

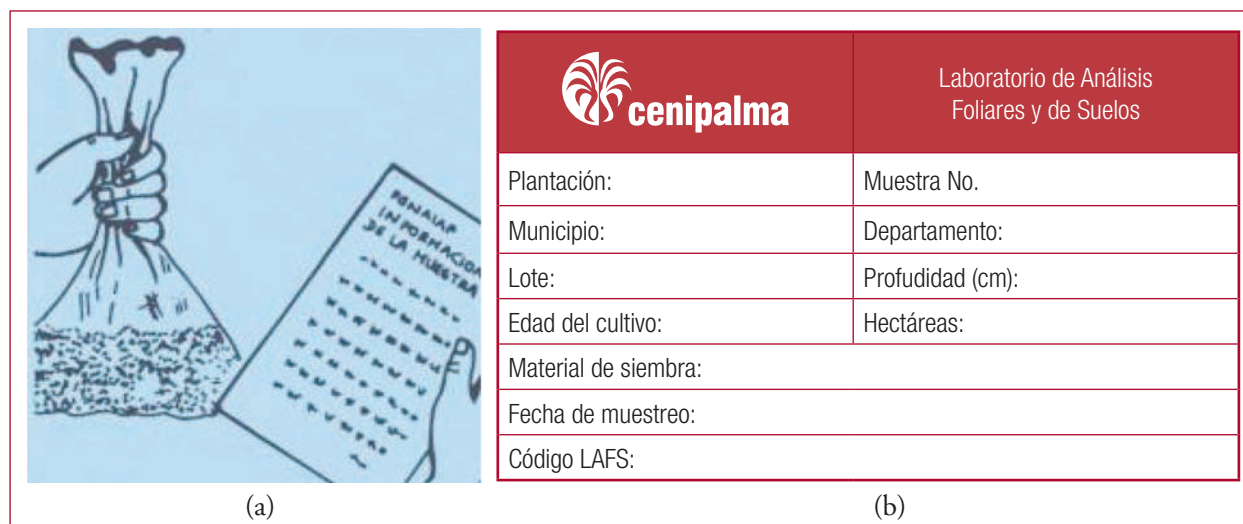


Figura 31. Empaque de la muestra en bolsa plástica (a) y marcación de etiqueta (b).

Secado de las muestras: Munévar y Franco (2002) recomiendan, para el caso de estar muy húmedas las muestras, proceder de la siguiente manera:

- Extienda las muestras y contramuestras separadamente sobre una superficie limpia y a la sombra durante uno a dos días.
- Evite exponer las muestras al polvo u otros contaminantes.
- No seque artificialmente las muestras de suelos.
- Mantenga la etiqueta de identificación con cada muestra hasta cuando proceda a empacarlas nuevamente.

Paso 5

Remita las muestras obtenidas al laboratorio en máximo una semana después de haberlas tomado. Proceda de la siguiente manera para hacer la remisión (Munévar y Franco, 2002):

- Introduzca las muestras debidamente etiquetadas en una caja resistente para transportarlas

- Diligencie detallada y cuidadosamente el formato de solicitud de servicio (Anexo 1)
- Diligencie detallada y cuidadosamente el formato para remisión de muestras (Anexo 2)

Información de retorno

1. Una vez terminado el tiempo de la práctica, el facilitador invitará a cada grupo de trabajo a nombrar un vocero que cuente a los demás grupos las observaciones elaboradas durante la práctica con las herramientas específicas.
2. Preguntará al grupo sobre los inconvenientes encontrados para el desarrollo de la práctica y motivará a encontrar otras alternativas de muestreo que se podrían emplear.
3. Al final de estas intervenciones, se sacarán conclusiones sobre cuáles herramientas son las más adecuadas para tomar muestras en ese determinado tipo de suelo.
4. Invitará a los asistentes a la capacitación a que expresen sus opiniones sobre la práctica realizada.

Referencias

- Amézquita C. E. 1994. Las Propiedades Físicas y el Manejo Productivo de los Suelos. En: Fertilidad de Suelos, Diagnóstico y control. Francisco Silva Mojica, Editor. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Santafé de Bogotá, Colombia. ISBN 958-95-299-1-7. p. 137-154
- Arias N., *et al.*, 2009. Principios agronómicos para el establecimiento de una plantación de palma de aceite. Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma y Alcaldía de Barrancabermeja, Santander. Bogotá, D.C. Colombia. 175 p.
- Arshad, M.A., B. Lowery, and B. Grossman. 1996. Physical tests for monitoring soil quality. P. 123-142. In: J. W. Doran and A. J. Jones (eds.) Methods for assessing soil quality. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.
- Bouwer H. 1986. Intake rate: cylinder infiltrometer. Pp. 825-844 in Klute A (ed.). Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods, 2nd Ed. Madison: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. 1188 p. ISBN 0-89118-088-5.
- Buckman Harry O; Brady Nyle C. 1984. The nature and property of soils. 9a ed. Macmillan. USA. ISBN 0029460301 paperback 560 p
- Casanova P. Manuel; Vera E. Wilfredo; Lucio L. Walter y Seguel S. Oscar. 2007. Edafología. agronomia.uchile.cl/web/manuel_casanova/edafologia_2007.htm
- Castro F, Hugo. 1998. Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas. Produmedios. Colombia. ISBN: 9589340563 v. 360 p.
- Coraspe, Hector M.; Tejera Sergio. 1996. Procedimiento para la toma de muestras de suelos. Revista Fonaiap Divulga No 54.
- De Leenheer L. 1967. Considerations critiques sur la valeur des resultats de la determination de la porosité totale et de la distribución des pore du sol. *Pedologie* No 17:2.
- De Boodt M. 1965. Soil physics. Gante, Bélgica, International Training Centre for Post-Graduate Soil Scientists
- Dorronsoro, C. 2011. Introducción a la Edafología. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada. España. Unidad docente e investigadora de la Facultad de Ciencias. Información acerca del suelo. Libros electrónicos y monografías. <http://www.edafologia.net>
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2009. Guía para la descripción de suelos. Cuarta edición. Roma.
- Fassbender, H. W. 1982. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. IICA. San José. Costa Rica. 398p.
- Forsythe, Warren. 1985. Física de Suelos: manual de laboratorio. 1ª. Ed. 2ª reimpresión. San José, Costa Rica. IICA, 1985, c1975. ISBN: 92-9039-052-2. Serie de Libros y Materiales Educativos No 25. 212 p.
- Hillel, D. 1982. Introduction to soil physics. 2nd ed. Elsevier Academic Press, San Diego, CA.
- Hillel, D. 2004. Introduction to environmental soil physics. Elsevier Academic Press. San Diego, California. USA. International Standard Book Number: 0-12-348655-6
- Jaramillo J, Daniel F. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Medellín. 619 p.
- Keenan, CH. y Wood. J. H. 1971. Química general universitaria. Compañía Editorial Continental S.A. México. 951 p.
- Kirkham, M. B. 2005. Principles of soil and plant water relations. Elsevier Academic Press, San Diego, CA. USA. ISBN: 0-12-409751-0
- Lora, Rodrigo. 1998. En: Encuentro nacional de Labranza de Conservación. Memorias. Gabriel Romero, Diego Aristizabal, Cesar Jaramillo, Edits.

- Malagón D. 1998. El recurso suelo en Colombia –Inventario y Problemática- Rev. Acad. Colomb. Cienc. 22(82):13-52. ISSN 0370-3908.
- Malavolta, E., G. Vitti y S. De Oliveira. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas, princípios e aplicações. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba, Brasil. 319 p.
- Munévar M. Fernando; Franco B. Pedro N. 2002. Guía general para el muestreo foliar y de suelos en el cultivo de la palma de aceite. Cenipalma. Boletín técnico N° 12. ISBN: 958-96494-9-1. Segunda ed. 24 p.
- Navarro B, Simón y Navarro G, G. 2003. Química Agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa, España. ISBN: 8.-8.1761 5.5-X. 438 p.
- Paramananthan S. 2008. Training course on soil survey and management of tropical soils. Lecture Notes. Param Agricultural Soil Survey (M) Sdn. Bhd. Selangor D.E. Malaysia. 294 p.
- PPI. Potash and Phosphate Institute. 1997. Manual internacional de fertilidad de suelos. Primera impresión del manual en español. Item # SP-5070. Referencia # 96207
- Rucks L, L.; Gracia, F. Kaplan, A.; Ponce de León, J. y Hill, M. 2004. Propiedades físicas del suelo. Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Depto Suelos y Aguas. Montevideo, Uruguay.
- Soil Survey Division Staff (SSDS). 1993. Soil survey manual. Handbook No. 18. United States Department of Agriculture (USDA). Washington D.C. 437 p.
- Soil Survey Staff (SSS). 1998. Keys to soil taxonomy. 8ª Ed. USDA. Washington D.C. 326 p.
- Soil Survey Staff (SSS, 1998, 1999) U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. National Soil Survey Handbook, title 430-VI. Available online at <http://soils.usda.gov/technical/handbook/>.
- Soil Survey Staff, (SSS). 1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, USDA. Servicio de Investigación Agrícola. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Instituto de Calidad de Suelos. 82 p.
- Soil Survey Staff, (SSS), 2006. Claves para la Taxonomía de suelos X edición. Departamento de Agricultura de los estados Unidos, USDA. Servicio de Conservación de los Recursos naturales. 331 p.
- Sullivan, P. 2007. El Manejo Sostenible de Suelos. ATTRA- El Servicio Nacional de Información de la Agricultura Sostenible. www.attra.ncat.org
- Zhang, X. N. and Zhao, A. Z. 1997. Surface charge. In: Chemistry of Variable Charge Soils. Yu T. R. editor. Oxford University Press Inc. New York. pp: 17-63



Unidad Temática 3. Adecuación del suelo para el establecimiento del cultivo

Estructura de la unidad	73
Explicación de la estructura	73
Preguntas orientadoras	74
Objetivos.....	74
Introducción	74
3.1 Los suelos dedicados al cultivo de la palma en Colombia.....	75
3.2 Efecto de los usos previos del suelo para el nuevo cultivo.....	75
3.3 Adecuación física de suelos para el establecimiento del cultivo.....	75
Ejercicio 1. Hipótesis sobre las condiciones físicas y químicas de suelos de acuerdo a su uso previo	77
Hoja de trabajo	78
Retroinformación para el Ejercicio 1	79
3.4 Adecuación química del suelo.....	79
Ejercicio 2. Interpretación de la PRE y cálculo de los requerimientos de enmiendas	84
Referencias	85



Figura 32. Labranza y enmiendas para el cultivo.

Estructura de la unidad

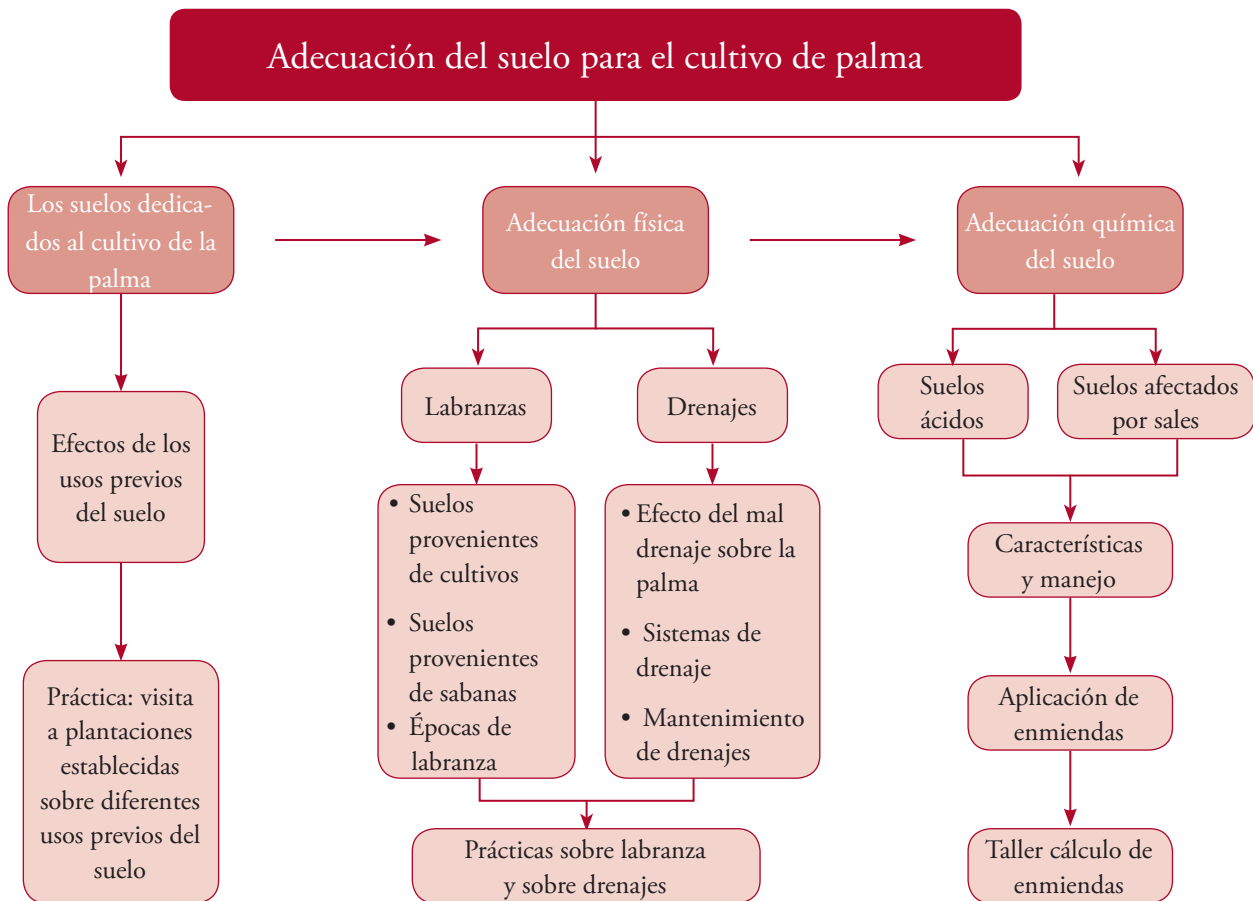


Figura 33. Estructura de aprendizaje de la unidad.

Explicación de la estructura

La presente estructura muestra los tres temas generales que serán tratados en esta unidad de aprendizaje y que le permitirán a los técnicos y otro personal de campo, conocer algunas alternativas para realizar la adecuación física y química del suelo donde se establecerá el nuevo cultivo de la palma de aceite. Esta unidad comienza

describiendo los suelos que están siendo utilizados para establecer el cultivo de palma de aceite en Colombia así como las limitaciones o ventajas que encontrará el nuevo cultivo, a nivel de suelo, de acuerdo a los usos previos a los que fue sometido; continúa detallando las alternativas de labranza de suelo que se deberían implementar según las limitaciones físicas encontradas así

como la importancia de realizar drenajes adecuados y, termina, con la recomendación de aplicación de enmiendas o correctivos de acuerdo con las limitaciones químicas presentadas. Los temas de aprendizaje serán reforzados con talleres prácticos así como con prácticas de campo.

Preguntas orientadoras

Antes de comenzar con el desarrollo de la unidad, el facilitador formulará a los asistentes una serie de preguntas relacionadas con los temas que va a desarrollar, con el propósito de explorar qué tanto conocen los participantes sobre el tema.

El facilitador pide a los participantes responder las preguntas en forma breve, sin profundizar en las respuestas ya que estas se encontrarán en el desarrollo de los contenidos del tema. Un breve comentario del docente acerca de cada respuesta, será suficiente.

Las preguntas a formular pueden ser del siguiente tipo:

- ¿Qué limitaciones o ventajas, a nivel del suelo, se podrían presentar en un lote de terreno cultivado con arroz durante varios años, en el que se piensa establecer el nuevo cultivo de palma de aceite?
- ¿Cuál considera usted sea la mayor justificación para realizar la labranza del suelo para establecer un nuevo cultivo?
- Enumere y describa al menos tres sistemas de labranza que usted conozca
- ¿Por qué considera usted importante realizar drenajes para establecer el nuevo cultivo?
- ¿Cómo define usted un suelo ácido?
- ¿Qué estrategias utilizaría usted para manejar suelos ácidos?
- ¿Qué fuentes de cal ha utilizado usted para corregir limitaciones de suelo?, ¿en qué aspectos se basó para la selección?
- ¿Qué estrategias conoce para manejar suelos afectados por sales?

- ¿Cuál o cuáles considera usted sean las ventajas de realizar una prueba de reactividad de enmiendas?

- ¿En qué épocas realizaría usted la aplicación de enmiendas?, ¿por qué?

Se dará un tiempo prudencial para que los asistentes respondan las preguntas formuladas.

Posteriormente, el facilitador pasará a exponer los objetivos que él persigue con la capacitación sobre esta unidad de aprendizaje.

Objetivos

Al final de la capacitación los usuarios de esta guía estarán capacitados para:

1. Formular hipótesis acerca de las condiciones físicas y químicas que tendrá el suelo donde se va a establecer el nuevo cultivo de palma de aceite de acuerdo a los usos a los que fue sometido en el pasado.
2. Seleccionar la mejor alternativa de labranza del suelo a implementar de acuerdo con las limitaciones físicas encontradas.
3. Identificar estrategias de manejo de suelos ácidos y con desbalance de bases para mitigar el impacto negativo de estas limitantes sobre el cultivo de palma.

Introducción

Gran parte de los suelos sobre los que se establecen cultivos de palma de aceite en Colombia presentan una serie de limitaciones en sus propiedades físicas y químicas que, unidas a factores ambientales, no permiten que el cultivo exprese su potencial productivo y crean condiciones adecuadas para la presencia de plagas y enfermedades. Para lograr una producción sostenible y estable en el tiempo se deben implementar, antes del establecimiento del nuevo cultivo, prácticas de adecuación del suelo, relacionadas con labranzas, aplicación de enmiendas e implementación de drenajes, que permitan aliviar las limitaciones físico-químicas presentes.

3.1 Los suelos dedicados al cultivo de la palma en Colombia

Los suelos de las cuatro zonas palmeras del país presentan limitaciones en sus propiedades físicas relacionadas con el movimiento del agua, alta compactación, baja conductividad hidráulica, baja capacidad de infiltración de lluvias y alta densidad aparente. En las zonas palmeras Central, Oriental y Suroccidental se presentan además, con frecuencia, suelos ácidos, con alta saturación de aluminio y baja disponibilidad de nutrientes. En la Zona Norte, las condiciones climáticas favorecen la salinización y sodificación de los suelos (Munévar, 1998).

El mal drenaje de los suelos, debido a diferentes causas, es limitante para la productividad en algunas plantaciones de las zonas Oriental, Central y Suroccidental (Munévar, 1998).

3.2 Efecto de los usos previos del suelo para el nuevo cultivo

3.2.1 Suelos utilizados con cultivos de arroz y potreros

En las zonas palmeras Norte, Oriental y Central es frecuente la compactación de los suelos por ser utilizados en cultivos de arroz o en explotaciones ganaderas (Preciado, 1997; Munévar, 1998). Los suelos provenientes de cultivos de arroz podrían presentar buenas propiedades químicas como consecuencia del uso de fertilizantes y correctivos (Munévar, 1998).

3.2.2 Suelos utilizados con sabanas nativas

En la Zona Oriental se están estableciendo cultivos de palma de aceite en suelos Oxisoles y Ultisoles de sabanas nativas, de los que se enfatizaba tenían excelentes propiedades físicas (Sánchez, 1976; Sánchez y Salinas, 1981). Estudios recientes de estos suelos han demostrado que poseen fuertes limitaciones como horizonte A de poco espesor, estructura débil, susceptibles a erosión, escasa materia orgánica, propensos a sellamiento, baja infiltración, alta compactación, baja capacidad de retener agua, bajo contenido de nutrientes y alta saturación

de aluminio (Amézquita, 1998; Sanz *et al.*, 1999; Molina, *et al.*, 2005).

3.3 Adecuación física de suelos para el establecimiento del cultivo

3.3.1 La labranza del suelo

Hillel *et al.*, (1969) definen la labranza como la manipulación mecánica del suelo que tiende a mejorar las condiciones que limitan la producción de los cultivos. Para establecer el cultivo de palma, la adecuación y preparación de tierras donde antes hubo potreros, rastrojos u otros cultivos, difiere bastante de la requerida para tierras de selva o bosque, pues las condiciones físicas o químicas de estos suelos son bastante diferentes de las de aquellos (Bernal, 2001).

3.3.1.1 Labranza de suelos provenientes de cultivos de arroz y potreros

En estos suelos es indispensable el uso de implementos apropiados para romper capas endurecidas que dificultan el movimiento del agua, tanto en la superficie como en la parte interna de los suelos. Para esto se pueden usar arados de cincel o subsoladores cuyas características se adecuen a la profundidad y al tipo de suelo (Bernal, 2001).

3.3.1.2 Labranza de suelos provenientes de sabanas nativas

Previo al establecimiento de la palma es necesario realizar labranza vertical del suelo con cinceles rígidos, combinados con la aplicación de cal dolomita y la siembra de cultivos que introduzcan abundantes raíces al suelo, para la creación de una capa superficial de suelo (capa arable) que no presente limitaciones para el desarrollo normal de las raíces de la palma. El uso de rastras de disco en suelos con contenidos de MO menor a 3,5 % no es recomendable debido a que se destruye la estructura del suelo. (Hoyos *et al.*, 1999; Amézquita *et al.*, 2000).

3.3.1.3 Épocas de labranza del suelo

En las zonas palmeras Oriental, Central y Suroccidental, de alta precipitación, los suelos deben laborarse

1) finalizando el período lluvioso o 2) iniciando la siguiente estación lluviosa para disminuir los riegos de erosión por escorrentía, facilitar el control de malezas, por su germinación a inicios de la estación seca y, para lograr los beneficios de la mineralización de la materia orgánica durante el verano.

Para las zonas áridas o subhúmedas, comunes en la zona palmera Norte, el suelo debe laborarse iniciando la estación lluviosa con el fin de que pueda absorber y almacenar un máximo de agua.

3.3.2 Drenaje del suelo

El drenaje agrícola es la práctica que se requiere para mejorar un suelo cuando este se encuentra bajo condiciones de exceso de agua y/o de sales (Cisneros, 2003). Las clases de drenaje del suelo dependen de la fuente del agua de exceso y de factores como la conductividad hidráulica, textura, estructura y porosidad del suelo, así como de la presencia de capas endurecidas (Paramanathan, 2007).

La forma práctica de verificar si un suelo necesita drenaje, es mediante la instalación de pozos de observación: examinando la profundidad y permanencia del nivel freático y midiendo la velocidad de su descenso, posterior a un aguacero que sature al suelo (Belalcázar, 1991).

3.3.2.1 Efectos del mal drenaje sobre la palma de aceite

La falta en el suministro de agua, sus excesos y los requerimientos de drenaje afectan de manera similar el crecimiento y desarrollo de la palma de aceite. Bajo condiciones de suelos anaeróbicos (inundados) las raíces de las palmas se afectan y aparecen los síntomas de deficiencia de N (Paramanathan, 2007).

Peralta *et al.* (1985) y Foster y Chang (1989) consideran al drenaje del suelo como el factor más limitante para la producción de palma de aceite en suelos aluviales al observar que los niveles de nitrógeno, fósforo y potasio se incrementaron conforme la profundidad del nivel freático aumentaba.

Jourdan y Rey (1997) observaron raíces primarias a 6 m de profundidad en Costa de Marfil, en suelos donde el nivel freático no es limitante. Corley y Thinker, (2003) reportaron que en suelos anaeróbicos las raíces de la palma no penetran profundamente.

3.3.2.2 Sistemas de drenaje para palma de aceite

Las necesidades de drenaje deben ser identificadas durante el levantamiento o estudio de suelos y el sistema de drenaje debe instalarse, en áreas pobremente drenadas, antes de la siembra del cultivo de la palma. Áreas que se inundan más de una vez cada tres años no deben sembrarse con palma de aceite (Paramanathan, 2007). Una vez que la red de drenajes ha sido definida, las que serán vías principales y de recolección del fruto de la palma de aceite deberán ser alineadas con relación a los drenes (AAR).

El sistema de drenaje a implementar para establecer el cultivo de la palma de aceite debe incluir drenes de campo (canales terciarios), canales secundarios y canales principales (colectores), como se ilustra en la Figura 34, que permitan mantener el nivel freático por debajo de 0,75 m de la superficie del suelo. Los diques y las esclusas pueden prevenir la entrada de agua por desbordamiento de ríos (Paramanathan, 2007).

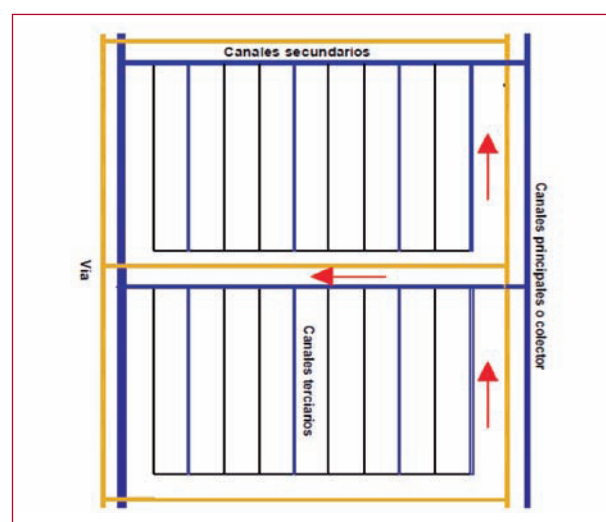


Figura 34. Esquema de sistema de drenaje

La intensidad y dimensión de los drenes de campo dependen de la textura y la permeabilidad del suelo, de la cantidad de agua a ser evacuada durante los meses húmedos y de la frecuencia de las inundaciones. Su orientación deberá ser paralela a la línea de siembra de la palma (Paramanathan, 2007). Por lo general, en suelos aluviales planos, de textura arcillosa, los drenes se pueden construir con intervalos de 2 a 4 líneas. En suelos arenosos bien estructurados y en suelos de turba, los intervalos se amplían a 6 u 8 líneas de palma.

Los drenes secundarios recogen el agua de los drenes de campo. Su orientación deberá ser paralela a las vías de recolección del fruto y descargarán en los canales principales en ángulo recto. Los canales principales descargarán el agua recolectada en los ríos (AAR).

3.3.2.3 Mantenimiento de los drenajes

Para garantizar el funcionamiento adecuado de los drenajes, es necesario implementar un mantenimiento periódico que permita remover los sedimentos y eliminar las malezas que obstruyen el flujo de agua llegando a causar inundaciones después de lluvias fuertes.

La remoción de sedimentos se debe realizar al menos una vez al año, preferiblemente antes del inicio de la temporada principal de lluvias. El control de las malezas que crecen en los bordes de los canales debe realizarse al menos dos veces por año, antes y después de la temporada principal de lluvias.

Ejercicio 1. Hipótesis sobre las condiciones físicas y químicas de suelos de acuerdo a su uso previo

Objetivos

1. Desarrollar en los participantes la capacidad para formular hipótesis acerca de las limitaciones y ventajas, en parámetros de física y química de suelos,

que se pueden presentar en un suelo dedicado a diferentes usos agrícolas.

2. Seleccionar el sistema de labranza del suelo de acuerdo a las condiciones encontradas.

Orientaciones para el facilitador¹:

1. Divida al grupo en subgrupos de 3 a 5 participantes.
2. Conceda 20 minutos para que cada grupo resuelva las situaciones planteadas.
3. Pida a cada subgrupo que presente las respuestas a las situaciones planteadas en los numerales 1 y 2. Fomente discusión general del grupo sobre si las respuestas son o no correctas.
4. Pida a cada grupo que presente la solución al numeral 3. Fomente la discusión general del grupo sobre las respuestas dadas.

Recursos necesarios

1. Hoja de trabajo para cada uno de los participantes, con las situaciones a resolver.
2. Tiempo: 20 minutos para resolver las situaciones planteadas y 30 para la discusión.

Instrucciones para los participantes

1. Formen equipos de tres a cinco personas.
2. En la hoja de trabajo, encuentren las situaciones planteadas.
3. Resuelvan las situaciones propuestas y discutan con el grupo en pleno si las respuestas son o no acertadas.

¹ Los problemas que se plantean en este ejercicio, en las prácticas o en las hojas de trabajo, pueden ser cambiados por el facilitador, según su criterio, dependiendo de las circunstancias y nivel de preparación de los participantes.

Hoja de trabajo

1. Enumere al menos 3 limitaciones y ventajas, en condiciones de física y química de suelos, que esperaría usted encontrar al momento de establecer un cultivo de palma sobre un suelo cuyo uso previo fue:

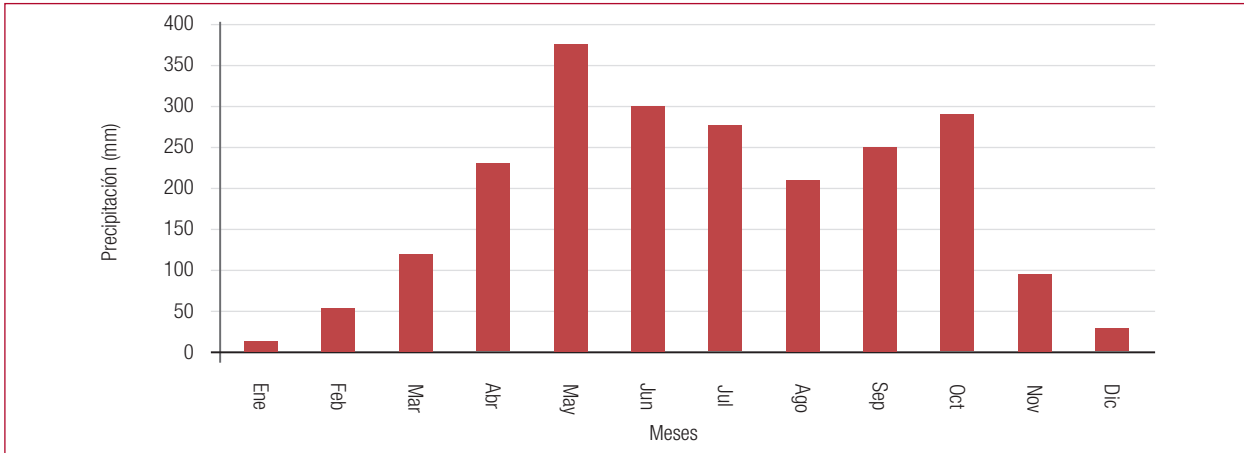
Uso previo del suelo	Limitaciones esperadas	Ventajas esperadas
Bosques	1. 2. 3.	1. 2. 3.
Potreros en suelos de vega o piedemonte	1. 2. 3.	1. 2. 3.
Arroz por más de 10 años	1. 2. 3.	1. 2. 3.
Sabanas nativas en suelos Oxisoles	1. 2. 3.	1. 2. 3.

2. De acuerdo con las respuestas del numeral 1, ¿cuál sistema de labranza implementaría usted en cada situación?, ¿cómo justificaría usted la elección?

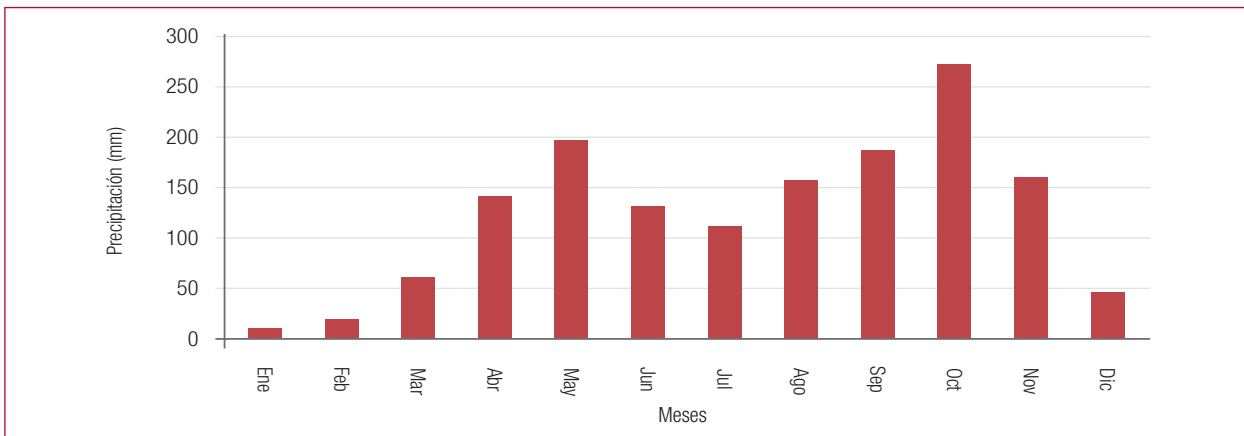
Nota: el facilitador enfatiza que el sistema de labranza a implementar se debe corroborar de acuerdo a evaluaciones de física de suelos en el campo.

Uso previo del suelo	Sistema de labranza	Justificación
Bosques		
Potreros en suelos de vega o piedemonte		
Arroz por más de 10 años		
Sabanas nativas en suelos Oxisoles		

3. ¿En qué meses del año realizaría usted la labranza del suelo en las zonas palmeras Oriental (a) y Norte (b) de Colombia basados en los regímenes de precipitación graficados a continuación? Sustente su respuesta.



a) Régimen de precipitación en la Zona Oriental palmera de Colombia.



b) Régimen de precipitación en la Zona Norte palmera de Colombia.

Retroinformación para el Ejercicio 1

El facilitador puede conducir una discusión acerca de las soluciones planteadas.

3.4 Adecuación química del suelo

3.4.1 Suelos ácidos y su manejo

Los suelos Oxisoles y Ultisoles ocupan cerca del 50 % de la superficie del trópico americano y están caracterizados por estar en zonas de alta precipitación y con fertilidad natural muy baja (Cochrane, 1978). Los suelos

dedicados al cultivo de la palma de aceite en Colombia, con excepción de los suelos de la región costera, se caracterizan por ser ácidos (Munevar, 1998; Garzón, 2010).

3.4.1.1 Limitantes de los suelos ácidos

Los suelos ácidos se caracterizan por tener elementos tóxicos como Al y bajos niveles de P, K, Ca, Mg, S y micronutrientes (Sánchez e Isbell, 1978).

En suelos ácidos de los Llanos Orientales de Colombia, Cristancho *et al.*, 2007, encontraron que la densidad del sistema radicular de la palma de aceite en

el primer horizonte del suelo disminuye en la medida que se incrementa el contenido de Al en el suelo (Figura 35). En condiciones hidropónicas, Cristancho (2010), al evaluar diferentes contenidos de Al en la solución del suelo, encontró efectos negativos sobre el crecimiento del sistema radicular y de la parte aérea, en la tasa fotosintética y en la toma de nutrimentos por la planta.

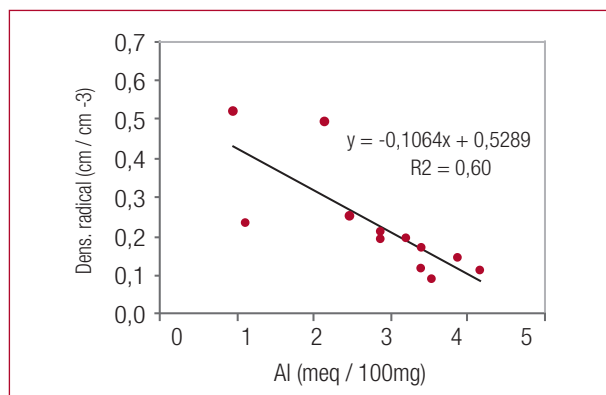


Figura 35. Densidad radicular de la palma de acuerdo con el contenido de Al en el suelo.

3.4.1.2 Manejo de la acidez de los suelos

Los problemas de acidez del suelo normalmente se corrigen con la aplicación de enmiendas. Tradicional-

mente, las plantaciones de palma de aceite en Colombia corrigen los problemas de acidez del suelo solamente al momento de establecer la plantación. Shamshuddin (2010) en suelos de Malasia dedicados al cultivo de la palma encontró que el efecto residual de las enmiendas dura entre tres y cuatro años; por lo cual, la aplicación debería repetirse durante la vida útil del cultivo de palma con cierta periodicidad.

3.4.1.3 Selección de las enmiendas

La eficiencia agronómica de las enmiendas depende de la pureza química de la fuente, forma química, el tamaño de las partículas y del poder relativo de neutralización total (Conyers *et al.*, 1996; Goh *et al.*, 1998; Espinosa y Molina, 1999).

- *Pureza química.* Los materiales usados como enmiendas normalmente vienen acompañados de bajos contenidos de sustancias como arcillas, materia orgánica y otros minerales. La pureza del material se expresa como el equivalente químico (EQ) y se define como la capacidad del material para neutralizar la acidez cuando se compara con el poder de neutralización del CaCO₃ 100 % puro, al cual se le asigna un valor de referencia de 100, Tabla 13 (Espinosa y Molina, 1999).

Tabla 13. Equivalentes químicos y composición química de materiales de encalado puros

Material	Equivalente Químico (EQ)	Fórmula	Contenido de Ca (%)	Contenido de Mg (%)
Carbonato de calcio	100	CaCO ₃	40	
Dolomita	108	CaCO ₃ ·MgCO ₃	21,6	13,1
Óxido de calcio	179	CaO	71	
Hidróxido de calcio	138	Ca(OH) ₂	54	
Hidróxido de magnesio	172	Mg(OH) ₂		41
Carbonato de magnesio	119	MgCO ₃		28,5
Óxido de magnesio	248	MgO		60
Silicato de calcio	86	CaSiO ₃	34,4	
Silicato de magnesio	100	MgSiO ₃		24

Los óxidos e hidróxidos tienen mayor capacidad para neutralizar la acidez que los carbonatos, siendo el óxido de magnesio 2.5 veces más efectivo que el carbonato de calcio. Los materiales con menos de 80 % de EQ (3,2 % de Ca) son de baja calidad, de acuerdo con los criterios utilizados en diferentes países (Espinoso y Molina, 1999).

- *Tamaño de las partículas.* A medida que se reduce el tamaño de las partículas del material de encalado se aumenta la superficie de contacto de la enmienda con el suelo y, por tanto, se aumenta la velocidad de reacción. La finura o eficiencia granulométrica (EG) de un material de encalado se determina pasando cierta cantidad conocida por una secuencia de mallas o cribas con tamaños entre 8 y 80 mesh, lo que permite retener en cada tamiz cierta cantidad de material. Cada tamaño en particular tiene una específica eficiencia granulométrica como se indica en la Tabla 14, (Espinoso y Molina, 1999)

Tabla 14. Eficiencia relativa granulométrica de la cal con base en el tipo de malla

Número de malla Mesh*	Tamaño de los orificios (mm)	Eficiencia relativa (%)
< 8	> 2,36	0
8 - 20	2,36 - 0,85	20
20 - 40	0,85 - 0,42	40
40 - 60	0,42 - 0,26	60
> 60	< 0,25	100

* Número de orificios por pulgada cuadrada

La condición ideal es que el 100 % del material pase por una malla 8 y entre el 70–80 % pase por una malla 60. Los materiales que pasan completamente la malla 60 tienen 100 % de efectividad y tienen un tiempo de reacción entre 3 y 6 meses. La cal que pasa por una malla 80 es demasiado fina, pero puede reaccionar en 1-3 meses (Espinoso y Molina, 1999).

- *Poder relativo de neutralización total (PRNT).* Este es un parámetro que indica el poder real de neutralización de la cal y hace referencia al porcentaje de

cal capaz de reaccionar en un lapso de 3 meses. Se obtiene multiplicando el equivalente químico por la eficiencia granulométrica y este producto se divide entre 100. Como ejemplo, un material con un EQ de 90 % y una EG de 80 %, tendrá un PRNT de 72 % ($90 \times 80/100=72$): se espera que el 72 % del material reaccione en un plazo de 3 meses y el restante 18 % ($90-72=18$), reaccionará posteriormente (Espinoso y Molina, 1999). Mientras mayor es el valor del PRNT, más reactivo es el material de encalado. Por ejemplo, se recomienda que para café la cal empleada tenga un PRNT mínimo de 75 % (Malavolta, 1993).

3.4.1.4 Características de algunas enmiendas

- *Óxido de calcio (CaO).* Conocido como cal viva o cal quemada. Es un polvo blanco difícil y desagradable de manejar. Cuando se aplica en un suelo ácido, por ser un óxido, reacciona de inmediato con el agua del suelo liberando iones OH. Es un material encalante ideal cuando se desean resultados rápidos (igual que el hidróxido de calcio). Luego de su aplicación debe incorporarse de inmediato debido a que se endurece rápidamente al ponerse en contacto con la humedad del suelo, haciéndose inefectiva la aplicación.
- *Hidróxido de calcio [Ca(OH)₂].* Se conoce también como cal apagada o cal hidratada. Es una sustancia blanca, polvorienta difícil y desagradable de manejar. Este material también reacciona en el suelo rápidamente y se debe incorporar inmediatamente después de su aplicación. Tiene un efecto intermedio entre el óxido de calcio y el carbonato de calcio para neutralizar la acidez del suelo.
- *Cal agrícola o calcita (CaCO₃).* Es el material más utilizado para encalar los suelos. Se obtiene a partir de roca caliza y roca calcárea o calcita que se muele y luego se cierne en mallas de diferente tamaño. Las rocas calizas no son puras y pueden contener arcillas, hierro, arena y granos de limo que reducen el contenido de carbonato. En su forma pura contiene 40 % de Ca.

- *Dolomita* (CaCO_3) (MgCO_3). Es un carbonato doble de calcio y magnesio. Aunque la dolomita reacciona más lentamente en el suelo que la calcita, tiene la ventaja de que suministra Mg, elemento que con frecuencia es deficiente en los suelos ácidos. Al igual que otros materiales de encalado, la calidad de la dolomita depende del contenido de impurezas como arcillas y material orgánico.
- *Óxido de magnesio* (MgO). Es un material de encalado que contiene solamente Mg. Su capacidad de neutralizar la acidez es mucho más elevada que la de otros materiales, pero, por su poca solubilidad en agua, debe ser molido finamente para que controle adecuadamente la acidez del suelo. Es una fuente excelente de Mg en suelos ácidos que frecuentemente son deficientes de este nutrimento.
- *Escorias industriales*. Son residuos de la industria del acero (escorias básicas) y la fundición del hierro (escorias Thomas). Los dos contienen silicatos de calcio (CaSiO_3) y silicatos de magnesio (MgSiO_3). Neutralizan la acidez del suelo a través de la hidrólisis del ion silicato (SiO_3). Su capacidad para neutralizar la acidez del suelo es similar al CaCO_3 .

3.4.1.5 Pruebas de Reactividad de Enmiendas, PRE

Aunque las enmiendas químicas se utilizan frecuentemente, para su selección no se utilizan criterios técnicos, debido a que el análisis químico de estos materiales no aporta la información suficiente para definir la conveniencia de su uso en circunstancias específicas.

Para guiar a los palmicultores en la selección adecuada de la enmienda, el Laboratorio de Análisis Folares y de Suelos, LAFS, de Cenipalma, estandarizó una prueba denominada como Prueba de Reactividad de la Enmienda, PRE, que consiste en incubar, por un tiempo predeterminado, muestras de suelo mezcladas con diferentes cantidades de las enmiendas a ser evaluadas y su efecto reactivo se mide con base en los cambios químicos que se detecten en el suelo (Munévar *et al.*, 2005). La Figura 36 ilustra el tipo de resultado arrojado por las PRE.

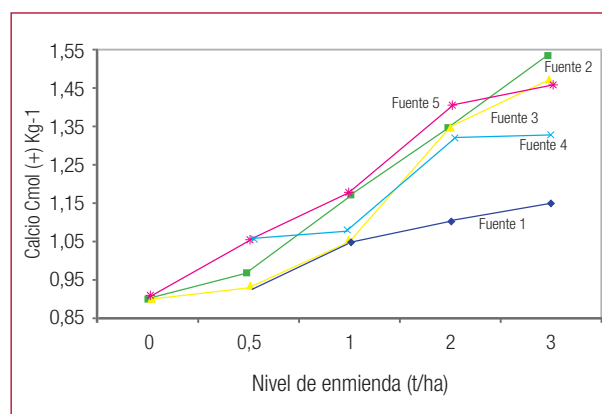


Figura 36. Calcio en el suelo con diferentes fuentes y dosis de enmiendas.

3.4.2 Suelos básicos

Se incluyen en este grupo los suelos que presentan valores de $\text{pH} > 7,3$, comunes en regiones áridas y semiáridas. En el suelo las bases funcionan como fuentes de alcalinidad, es decir, los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ , que al reaccionar con el agua del suelo producen iones hidroxilo (Jaramillo, 2002). Un alto porcentaje de los suelos dedicados al cultivo de la palma en la Zona Norte de Colombia se caracterizan por presentar pH que van desde 6,3 hasta alcalinos (Munévar, 2008).

3.4.2.1 Formación de suelos básicos

Los suelos básicos se pueden presentar por causa natural o ser el resultado de la intervención humana. Se pueden presentar de manera natural en suelos irrigados y no irrigados a causa de la pérdida de agua por evapotranspiración de las plantas, que concentra los solutos en la solución del suelo al reducir el contenido de agua y, por un aporte posible de sales por las lluvias. La intervención humana puede causar los problemas de basicidad por el mal uso de algunos fertilizantes y por el riego excesivo que provoca el ascenso capilar de agua con sales provenientes de las capas más profundas del suelo.

3.4.2.2 Grupos y propiedades de los suelos básicos

Teniendo en cuenta el tipo de basicidad y la conductividad eléctrica (capacidad de una solución de transmitir la

electricidad, la cual está en relación directa con su contenido de sales), se pueden separar los suelos básicos en:

3.4.2.2.1 Suelos salinos

Suelos con predominio de los aniones cloruros y sulfatos. Presentan conductividad eléctrica en el extracto de saturación de 4 o más dSm^{-1} , porcentaje de sodio intercambiable (PSI) < 15 % (Personal Laboratorio de Salinidad, 1974) y pH generalmente menor a 8,5. Con frecuencia estos suelos presentan costras salinas blancas en la superficie por lo que son llamados álcali blanco.

El contenido de materia orgánica de estos suelos es bajo y se presentan deficiencias de N, P y elementos menores, exceptuando el Mo. Aunque el contenido de bases es alto, son frecuentes los desbalances entre ellas, pudiendo ocasionar deficiencias en las plantas por antagonismo. Normalmente, tienen buenas propiedades físicas.

3.4.2.2.2 Suelos sódicos

Suelos con predominio del anión sulfato. Presentan conductividad eléctrica < a 4 dSm^{-1} , PSI > 15 % (Personal Laboratorio de Salinidad, 1974), pH > a 8.5 y alto contenido de Na intercambiable. Normalmente presentan una película de color oscuro dispersa en la superficie, por acumulación de materia orgánica, por lo cual se les da el nombre común de álcali negro.

El alto contenido de Na intercambiables genera problemas de porosidad y permeabilidad originados por la dispersión de los coloides. A nivel nutricional, presentan las mismas limitaciones que los suelos sódicos (Jaramillo, 2002).

3.4.2.2.3 Suelos salino-sódicos

Presentan conductividad eléctrica > a 4 dSm^{-1} , PSI > 15 % (Personal Laboratorio de Salinidad, 1974) y pH menor a 8,5.

La condición de alta salinidad no deja que la estructura del suelo se colapse al impedir la dispersión de los coloides, por lo cual estos suelos no presentan los problemas físicos de los suelos sódicos. La eliminación de las sales antes que el Na^+ , en estos suelos, los transforma en sódicos (Jaramillo, 2002).

3.4.2.2.4 Suelos calcáreos

Suelos presentes en regiones semiáridas que presentan altos niveles de CaCO_3 libres en el perfil los cuales hacen que el pH en estos suelos sea mayor a 8,4. Pulido (2000), encontró que estos suelos se distribuyen ampliamente en la zona Caribe colombiana, afectando alrededor de 758.200 ha y, en la mayoría de los casos, afectadas también con otras sales y con sodio (Jaramillo, 2002).

Una de las principales limitantes de los suelos costeros son las altas concentraciones de Ca y Mg, que ocasionan desbalances con el K, deprimiendo la absorción de K y B (Goh y Hardter, 2003). El Ca aplicado como carbonato puede inducir deficiencias de Fe y Mn al aumentar el pH del suelo.

3.4.2.3 Uso de enmiendas en suelos básicos

El S elemental es el acidificante más efectivo y debe ser incorporado al suelo para incrementar la velocidad de reacción y recuperación. Los productos de azufre que actúan como acidificantes del suelo, potencialmente pueden mejorar la disponibilidad de nutrientes en los suelos calcáreos, disminuyendo el pH del suelo. Ejemplos de acidificantes con S incluyen el S elemental, el yeso, el ácido sulfúrico (H_2SO_4), entre otros. Las dosis de acidificantes de suelos requeridas para causar una respuesta a las plantas depende de la cantidad de CaCO_3 en el suelo (Finck, 1982), Tabla 15.

Tabla 15. Dosis de yeso y azufre elemental (S) para recuperar suelos sódicos a 15 cm de profundidad.

Cmol(+)kg de sodio intercambiable a ser reemplazado por Ca	Dosis de la enmienda (t/ha)*	
	Yeso	S elemental
1	2,22	0,39
2	4,19	0,79
4	8,52	1,58
8	16,91	3,16

* Se duplica la dosis a aplicar por cada 15 cm adicionales de profundidad del suelo a mejorar

El S elemental no aporta Ca, pero puede disolver los CaCO_3 existentes en algunos suelos alcalinos formando sulfato de calcio que es soluble y se puede lavar.

3.4.2.4 Manejo de nutrientes y del agua en suelos básicos

Los valores de pH del suelo mayores a 7,3 afectan la disponibilidad de nutrientes y origina reacciones químicas que afectan la pérdida o la fijación de casi todos los nutrientes.

Las aplicaciones de P deben realizarse en bandas para reducir el contacto del fertilizante con el suelo y disminuir o retrasar la formación de fosfatos insolubles de Ca y Mg. Las deficiencias de Fe, Zn, Mn y Cu son comunes debido a su solubilidad reducida a valores de pH alcalino y se pueden corregir mediante la aplicación foliar de quelatos.

Para incrementar la productividad de los cultivos de palma en suelos afectados por sales y especialmente altas saturaciones de Ca se plantea la realización de riegos con agua que contenga bajos niveles de sales, práctica que debe estar acompañada con la construcción de una buena red de drenajes para poder sacar los excesos de agua en los meses de alta precipitación y así lograr un lavado efectivo de las sales. Adicionalmente, se propone aplicar S elemental para disolver los CaCO_3 , lo cual se puede combinar con la aplicación de tusas o fuentes de nutrientes sulfatadas que no contengan Ca y Mg, con el objetivo de inducir un adecuado balance de macro y micronutrientes.

3.4.3 Épocas para la aplicación de enmiendas

Las épocas de aplicación de enmiendas deben coincidir con las mejores épocas para la realización de la labranza del suelo, aprovechando de esta manera los pases de los implementos agrícolas para incorporar las enmiendas. En algunas regiones palmeras esta práctica se realiza al inicio de la época lluviosa o al final de la temporada de lluvias (Figura 37), que en el caso específico de la región oriental es entre marzo y abril o a finales de noviembre o diciembre. Otra época utilizada

en los Llanos Orientales es entre julio y agosto, pero la ventana de aplicación es pequeña.

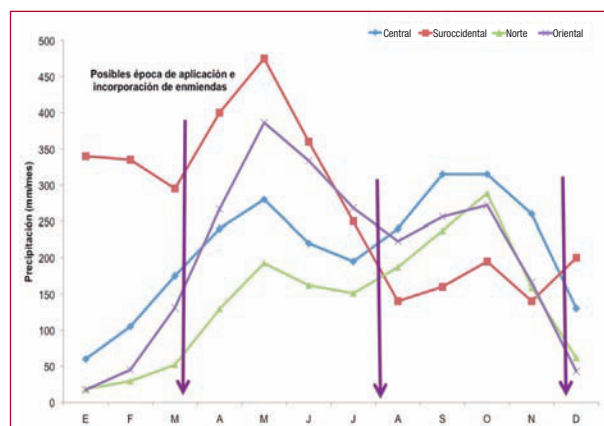


Figura 37. Distribución anual de la precipitación en diferentes regiones palmeras de Colombia. Las flechas de color morado indican las posibles épocas para la aplicación e incorporación de enmiendas.

Ejercicio 2. Interpretación de la PRE y cálculo de los requerimientos de enmiendas

Objetivo

Incentivar a los participantes a empezar a utilizar los recursos de la caracterización de suelos para la selección de los suelos que necesitan manejo de problemas de desbalance de bases (suelos ácidos o suelos afectados por sales), y poder seleccionar las mejores fuentes de fertilizantes para ser aplicado en cada tipo de suelo.

Orientaciones para el facilitador

Para la consecución de este objetivo, divida a los participantes en grupos de trabajo de máximo 10 personas. Suministre informes de caracterizaciones de suelos o resultados de suelos de nuevas áreas que se van a plantar en palma de aceite o áreas ya establecidas. Adicionalmente se debe proveer una lista de las enmiendas más utilizadas en las diferentes regiones palmeras. El grupo debe realizar una propuesta de las enmiendas y dosis a probar para cada tipo de suelo. Posteriormente

se debe suministrar un informe de las PRE y el grupo debe interpretar los resultados, seleccionar las enmiendas y las dosis a aplicar en campo.

Recursos necesarios

- Proyector de video
- Calculadora o computador portátil
- Salón
- Papelógrafo
- Marcadores
- Informe caracterizaciones de suelos o resultados de análisis de suelos
- Listado de enmiendas y fertilizantes
- Informe de PRE

Referencias

- AAR. Applied Agricultural Resources Sdn. Bhd. TPSB Assistant Training Course. Drainage for Oil Palm Cultivation.
- Amézquita, E. 1998. Propiedades físicas de los suelos de los Llanos Orientales y sus requerimientos de labranza. En: *Encuentro Nacional de labranza de Conservación*. (Romero C, G; Ariztizábal, D; Jaramillo S, CA Eds.). Villavicencio. p. 145-174.
- Amézquita, E.; Rao, I.M.; Molina, D.L.; Phiri, S.; Lal, R. and Thomas, R.J. 2000. Constructing an arable layer: Key Issue for Sustainable Agriculture in Tropical Savanna Soils. ISTRO-2000. fort Worth, Texas, USA. July 1-8, 2000.
- Belalcazar, S 1991. El cultivo del plátano en el trópico. Editorial FERIVA. Colombia. p 75
- Bernal N. Fernando. 2001. El cultivo de la palma de aceite y su beneficio. Guía general para el nuevo palmicultor. Fedepalma. ISBN: 958-96494-3-2 páginas 186.
- Cisneros A. Rodolfo. 2003. Apuntes de riego y drenajes. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Cochrane, Thomas T. 1978. Evaluación de los ecosistemas de sabana de América Tropical para la producción de ganado de carne. En: Tergas, L.E y Sánchez P.A. (eds): Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos. CIAT, Cali, Colombia. P 3-15
- Conyers, M., Scott, B., Fisher, R., and Lill, W. (1996) Predicting the field performance of twelve commercial liming materials from southern Australia. *Fertilizer Research*, 44, 151 - 161.
- Corley, R.H.V and Tinker P.B. 2003. *The Oil Palm*. Blackwell Science Ltd. Fourth edition. Oxford. Reino Unido. ISBN 0-632-05212-0. 608p.
- Cristancho, R.J.A., Mosquera, R.M., Castilla, C.C., and Silva, C.J. (2007) Relationship between Al, Mg, K saturation and the incidence of bud rot in oil palm at the East Colombian region. *Palmas*, 28 (2), 3-9.
- Cristancho, R.J.A. (2010). Aluminium and soil acidity alleviation effects on growth, physiological and biochemical parameters of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seedlings. Ph.D. dissertation, University Putra Malaysia, pp. 174.
- Espinosa, José y Molina Eloy. 1999. Acidez y encalado de los suelos. Primera edición. International Plant Nutrition Institute IPNI.

Orientaciones para los participantes

En el desarrollo de esta práctica, cada grupo representa el equipo de manejo agronómico de una futura plantación de palma que debe realizar la adecuación química de los suelos para garantizar un buen establecimiento de la cobertura y el cultivo de palma. La gerencia le ha pedido presentar una propuesta de las enmiendas, las dosis y la época de aplicación de las fuentes para garantizar un buen desarrollo y productividad del cultivo. Para ello cuenta con dos horas de trabajo.

Retroinformación

Solicite que un representante de cada grupo presente el plan de manejo químico del suelo y, posteriormente, se debe realizar una concertación del esquema de manejo a seguir.

- Fageria, N.K., and Baligar, V.C. (2003) Fertility management of tropical acid soils for sustainable crop production. In: Handbook of soil acidity (Z. Rengel, ed), New York, USA: Marcel Dekker, Inc., pp 359-385.
- Finck, A. (1982). Fertilizers and Fertilization. Verlag Chemie, Weinheim.
- Foster, H.; Chang, K. 1989. Factor limiting oil palm yield in Peninsular Malaysia. *Oleagineux*, 44 (1): 1-7.
- Garzón, G.E.M. (2010). Los suelos cultivados con palma de aceite en la Zona Norte. Curso manejo integrado de la nutrición, Valledupar.
- Goh, K.J., Chew, P.S., and Teoh, K.C. (1998) Ground magnesium limestone as a source of magnesium for mature oil palm on sandy soil in Malaysia. In: International oil palm conference, Nusa Dua Bali, pp 347 - 361.
- Goh, K.J., and Hardter, R. (2003) General oil palm nutrition. In: Fairhurst, T and Hardter, R (eds): Oil Palm Management for Large and Sustainable Yields. Singapore: Potash & Phosphate Institute/Potash & Phosphate Institute Canada, pp 199 - 205.
- Hillel, D; *et al.*, 1969. Soil-crop-tillage interactions in dryland and irrigated farming. Research Report submitted to the U.S. Department of Agricultural by the Hebrew University of Jerusalem, Jerusalem, Israel.
- Hoyos G., P.; Amézquita C., E.; Thomas, R.J.; Vera, R.R.; Molina, D.L. 1999. Efecto del sistema y uso de la tierra en la distribución de los agregados en suelos de la altillanura colombiana = Effect the land use system in aggregate size distribution of soil from the eastern plains of Colombia. *Suelos Ecuatoriales* 29(1):61-65.
- Jaramillo J, Daniel F. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Medellín. 619 p.
- Jourdan C. & Rey H. 1997. Architecture and development of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) root system. *Pl. Soil*, 189, 33–48
- Malavolta, E. 1993. Nutricao mineral e adubacao do cafeeiro. Colheitas económicas máximas. Sao Paulo, Brasil, Ed. Ceres. 210 p.
- Molina, D.L.; Amézquita, E. y Hoyos, P. 2005. Construcción de capas arables en suelos oxisoles de la altillanura colombiana. En: Lobo, D., Gabriels, D. y Soto, G. (eds.). Evaluación de parámetros y procesos hidrológicos en el suelo. Compendio de los trabajos presentados en la VII Escuela Latinoamericana de Física de Suelos (ELAFIS). La Serena, Chile, 2-14 de noviembre de 2003. PHI-VI. Documentos Técnicos en Hidrología No 71. UNESCO, París, 2005.
- Munévar M, F. 1998. Problemática de los suelos cultivados con palma de aceite en Colombia. *Palmas* (Colombia) 19 (No. Especial): 218-228.
- Munévar M., F.; Romero F, A.; Cuellar S., M. 2005. Pruebas de reactividad de enmiendas (PRE): Ensayos de laboratorio que apoyan al palmicultor en la selección de fertilizantes efectivos. *Ceniavances*, 131.
- Paramanathan S. 2007. Land selection for oil palm. In: Training course on soil survey and management of tropical soils. Lecture notes. Param Agricultural Soil Survey (M) Sdn. Bhd. Selangor D.E., Malaysia.
- Paramanathan S. 2007. Managing soils for plantation tree crops. Part I: General soil management. In: Training course on soil survey and management of tropical soils. Lecture notes. Param Agricultural Soil Survey (M) Sdn. Bhd. Selangor D.E., Malaysia.
- Peralta, F.; Vásquez, O.; Richardson, D.; Alvarado, A.; Bornemisa, E. 1985. Effect of some physical characteristics on yield, growth and nutrition, of the oil palm in Costa Rica. *Oleagineux* 40(8-9) 423 - 428.
- Personal del laboratorio de salinidad de los E.U.A. 1974. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. 6a ed., 1a reimp. Editorial Limusa
- Preciado, L G. 1997. Influencia del tiempo de uso del suelo en las propiedades físicas, en la productividad y sostenibilidad del cultivo de arroz en Casanare. Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira. (Tesis de maestría).

- Pulido, C. 2000. Distribución geográfica de sales solubles, sodio intercambiable y carbonato de calcio en la región del Caribe colombiano. *Suelos Ecuatoriales* 30(1): 44-49.
- Sánchez, P. A. 1976. *Properties and management of soils in the tropics*. Wiley, New York. p. 96-103.
- Sánchez P. A and Isbell, R.F. 1978. Comparación entre los suelos de los trópicos de América Latina y Australia. En: Tergas, L.E y Sánchez P.A. (eds): *Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos*. CIAT, Cali, Colombia. p: 29-58
- Sánchez, P. A.; Salinas J. C. 1981. Low-input technology for managing Oxisols and Ultisols in Tropical America. *Adv. Agron.* 34: 280-406
- Sanz S. J. I.; Zeigler R S.; Sarkarung S.; Molina D L.; Rivera, M. 1999. Sistemas mejorados arroz-pasturas para sabana nativa y pasturas degradadas en suelos ácidos de América del Sur. In: Guimaraes, E.P., Sanz, J. I., Rao, I. M., Amézquita, M. C. y Amézquita, E. (Eds). *Sistemas Agropastoriles en Sabanas de América Latina*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y Empresa Brasileira de pesquisa Agropecuaria- EMBRAPA. Publicación CIAT No 313. pp. 232-244
- Shamshuddin, J., & Che-fauziah, I. (2010). *Weathered Tropical Soils* (p. 147).
- Sumner, M.E., and Noble, A.D. (2003) *Soil acidification: the world story*. In: *Handbook of Soil Acidity* (Z. Rengel, ed), New York, pp 1 - 28.



Anexos

Anexo 1. Formato para solicitar análisis de suelos en el laboratorio de Cenipalma	91
Anexo 2. Formato para identificar muestras para análisis de laboratorio en Cenipalma	92
Anexo 3. Exploración final de conocimientos	93
Anexo 4. Algunos implementos agrícolas para la labranza y adecuación del suelo	94

Anexo 2. Formato para identificar muestras para análisis de laboratorio en Cenipalma

		SOLICITUD DE ANÁLISIS Servicio a Palmicultores Laboratorio de Análisis Foliar y de Suelos - LAFS						IM-F2-LAFS/2 Página 4 de 4				
RELACIÓN DE MUESTRAS DE SUELOS												
Cód. LAFS	No. de Muestra	Identificación en etiqueta (lote, bloque, etc.)	Profundidad a la cual se tomó la muestra (cm)	Área que representa la muestra (ha)	Edad del cultivo	Material de siembra	Rendimiento de racimos últimos	OBSERVACIONES Registre por favor la información que se debe tener en cuenta en la realización de los análisis: tratamientos especiales, ubicaciones específicas, etc.				
							doce meses (t/ha)					
	1											
	2											
	3											
	4											
	5											
	6											
	7											
	8											
	9											
	10											
	11											
	12											
	13											
	14											
	15											
Última fecha de fertilización:												
Fertilizantes utilizados:												

Anexo 3. Exploración final de conocimientos

Objetivo

Evaluar el conocimiento apropiado por parte de los participantes durante la capacitación.

Orientaciones para el facilitador

Organice a los participantes individualmente.

1. Conceda 30 minutos para que cada participante resuelva la evaluación planteada.
2. Califique la evaluación de cada participante
3. Retroalimente a los participantes dándoles a conocer el resultado de su evaluación.

Recursos necesarios

1. Hoja de evaluación para cada uno de los participantes, con las preguntas a resolver.
2. Tiempo: 30 minutos para resolver las situaciones planteadas y 30 para la discusión en grupo.

Instrucciones para los participantes

1. Reciba su hoja de evaluación y respóndala de manera individual
2. Analice el resultado de la evaluación y profundice sobre los temas en los cuales obtuvo los menores valores en la evaluación.

Preguntas a resolver:

1. ¿Cuáles atributos debe tener un suelo para ser considerado de buena calidad para los cultivos?
2. ¿Qué problemas ocasionan los excesos de agua en el suelo?

3. ¿Qué limitaciones físicas del suelo se asocian con valores altos de densidad aparente?
4. ¿Por qué es importante conocer la conductividad hidráulica saturada del suelo?
5. ¿Cuál es la importancia de conocer el pH del suelo?
6. En un suelo con D_a de 1.3 gr/cm^3 el análisis de laboratorio señaló una concentración de $0,26 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ de K aprovechable. Teniendo en cuenta que el nivel adecuado de K en el suelo para el cultivo de la palma es $0.4 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$, ¿cuánto K debo aplicar para nivelar el suelo a una profundidad de 25 cm?
7. ¿Cuáles son los valores de P y las saturaciones de Ca, Mg, K y Al en la solución del suelo consideradas adecuadas por Cenipalma para el establecimiento del cultivo de la palma?
8. ¿Cuál o cuáles considera usted sean las ventajas de realizar una prueba de reactividad de enmiendas?
9. ¿Con qué espaciamiento se deben establecer los canales de drenaje secundarios en un lote donde se establecerá el cultivo de palma?
10. ¿Cuál es la importancia del tamaño de las partículas del material encalante?

Retroinformación de la exploración final de conocimientos

El facilitador, con base en el contenido de la presente guía y los aportes de los asistentes a las capacitaciones durante el evento, calificará las respuestas dadas al cuestionario de la exploración final de conocimientos y dará a conocer a cada uno de los participantes, de manera privada, el resultado de la evaluación.

Anexo 4. Algunos implementos agrícolas para la labranza y adecuación del suelo

Tomado de <http://www.inamec.com>



Arado de cincelos rígidos parabólicos. Izquierda con aleta y alto requerimiento de potencia; derecha para bajo requerimiento de potencia.



Cinzel vibratorio

Rastrillo pulidor de cinzel



Rastra de tiro

Arado de discos




Subsolador

Taipa



Zanjadora



Esta publicación es propiedad del Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma, por tanto, ninguna parte del material ni su contenido, ni ninguna copia del mismo puede ser alterada en forma alguna, transmitida, copiada o distribuida a terceros sin el consentimiento expreso de Cenipalma. Al realizar la presente publicación, Cenipalma ha confiado en la información proveniente de fuentes públicas o fuentes debidamente publicadas. Contiene recomendaciones o sugerencias que profesionalmente resultan adecuadas e idóneas con base en el estado actual de la técnica, los estudios científicos, así como las investigaciones propias adelantadas. A menos que esté expresamente indicado, no se ha utilizado en esta publicación información sujeta a confidencialidad ni información privilegiada o aquella que pueda significar incumplimiento a la legislación sobre derechos de autor. La información contenida en esta publicación es de carácter estrictamente referencial y así debe ser tomada y está ajustada a las normas nacionales de competencia, Código de Ética y Buen Gobierno de la Federación, respetando en todo momento la libre participación de las empresas en el mercado, el bienestar de los consumidores y la eficiencia económica.

Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma
Calle 98 # 70-91. Centro Empresarial Pontevedra, piso 14. Bogotá
D.C. PBX: (57-1) 313 8600
www.cenipalma.org