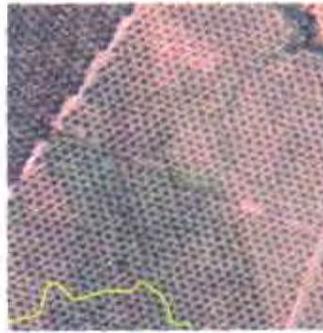


D
1612

Conceptos básicos para utilizar los levantamientos de suelos en el manejo agronómico de la palma de aceite

Proyecto

Caracterización de suelos y determinación de Unidades de Manejo Agronómico en plantaciones de la Zona Central palmera de Colombia



Conceptos básicos para utilizar los levantamientos de suelos en el manejo agronómico de la palma de aceite

Proyecto
Caracterización de suelos y determinación
de Unidades de Manejo Agronómico
en plantaciones de la Zona Central palmera de Colombia

Yolanda Rubiano Sanabria



Publicación del Centro de Investigación en Palma de Aceite – Cenipalma.
Cofinanciada por el Sena.

Textos:

Yolanda Rubiano Sanabria.

Profesional especialista de CIAT hasta agosto de 2005.

Actualmente, Profesora asistente, Universidad Nacional de Colombia.

Fotos portada:

Palmeras de Puerto Wilches y archivo fotográfico Cenipalma.

Revisión técnica:

Edna Margarita Garzón y Fernando Munévar M,
Investigadores de Cenipalma.

Coordinación editorial:

Carolina Osorio Posada, Transferidora Cenipalma, Bogotá.

Diseño y diagramación:

Briceño Gráfico

Impresión:

Molher Impresores Ltda.

Cenipalma

Calle 21 No. 42 C 47

PBX 2088660 Fax. 3681152

E mail: bogota@cenipalma.org

Bogotá D.C. – Colombia

Noviembre de 2005

ISBN: 96153-3-3

Presentación

Esta cartilla es uno de los productos del convenio especial de cooperación No. 00173 suscrito entre el Sena y Cenipalma, quienes se aliaron estratégicamente para llevar a cabo el proyecto "Caracterización de suelos y determinación de unidades de manejo agronómico en plantaciones de la Zona Central palmera de Colombia. Etapa 1". El proyecto incluyó un levantamiento detallado de suelos con un cubrimiento de 10.000 hectáreas distribuidas en 29 fincas palmicultoras, las cuales con sus aportes en dinero complementaron de manera significativa los recursos asignados por el Sena y Cenipalma. Otro de los componentes estratégicos del proyecto fue un conjunto amplio de actividades de capacitación y transferencia de tecnología, en el cual se enmarca esta cartilla. Cenipalma recibió también apoyo del Centro Internacional de Agricultura Tropical (Ciat), para el desarrollo de algunas actividades y productos del proyecto, uno de los cuales es esta publicación.

Con la cartilla se busca presentar de una manera sencilla y didáctica, conceptos básicos sobre los suelos, abordando entre otros aspectos, su formación, transformación, caracterización y clasificación taxonómica. La apropiación de estos conocimientos facilitará, en corto plazo, que técnicos, profesionales e investigadores se comuniquen bajo un lenguaje común y universal, lográndose así un mayor entendimiento para la toma de decisiones en manejo y adecuación de suelos para la palma de aceite, así como en la generación y transferencia de tecnología según la clase de suelo, con todas sus potencialidades y limitaciones.

Por otra parte y como el nombre de la cartilla lo indica, se quiso esbozar los fundamentos de la geografía de los suelos, presentando sintéticamente la metodología de los levantamientos de suelos, las técnicas que emplean los edafólogos reconocedores para estudiar su distribución espacial en el campo y finalmente, la manera de representarlos cartográficamente en los mapas de suelos.

Cenipalma ha insistido en la necesidad e importancia de que las empresas palmicultoras cuenten con levantamientos de suelos y utilicen la valiosa información generada en dichos estudios (mapas e informe técnico), bien para orientar técnicamente la selección de nuevas tierras para el cultivo o, en plantaciones ya establecidas, para organizar consistentemente Unidades de Manejo Agronómico (UMA) que reúnan cierto grado de homogeneidad edafoclimática y de cultivo, para la puesta en marcha de una agricultura específica por UMA, con prácticas de manejo definidas y de las que se esperan los mejores resultados en productividad, sostenibilidad y competitividad del cultivo. Cenipalma y el Sena esperan que al finalizar este proyecto y estudiar esta cartilla, técnicos y profesionales al servicio del sector palmicultor sean capaces de interpretar, en función del cultivo, los distintos productos directos y derivados de la realización del levantamiento de suelos. Ello es: el conocimiento de la diversidad de suelos en las plantaciones, las tablas de datos, las imágenes ilustrativas, el informe técnico y los mapas de suelos con sus unidades cartográficas y contenido edáfico, con sus correspondientes características físicas, químicas, morfológicas y mineralógicas, con énfasis en aquellas que más influyen en la productividad de la palma de aceite.

Pedro León Gómez Cuervo
Director Ejecutivo

Contenido

Introducción	5
Conceptos básicos	6
Características del suelo	7
Clasificación de suelos	10
Mapas de suelos	14
Sistematización de la información	21
Utilidad de los levantamientos	22
Bibliografía	24

Introducción

El suelo es un medio muy complejo y heterogéneo con propiedades físicas, químicas y biológicas que ejercen influencia sobre el crecimiento de las plantas. Su comprensión es fundamental para el eficaz establecimiento y cuidado de la palma de aceite, y para la selección de las tierras en donde se desea introducir este cultivo.

En Colombia, la siembra de palma se realiza, con frecuencia, en suelos de baja fertilidad y en zonas con otras limitaciones, en las cuales la rentabilidad del cultivo se ve afectada por los altos costos de fertilización, adecuación de tierras y corrección de limitantes biofísicas.

Para reducir los costos de inversión y hacer más competitivo el negocio, es necesario emprender un proceso que facilite a los productores la selección de las mejores tierras para plantar palma y en el caso de que las plantaciones ya estén establecidas, les permita identificar los factores que limitan la producción, cuantificarlos y definir los tipos de manejo que deben introducir para corregirlos, de tal forma que se garantice la rentabilidad y sostenibilidad del cultivo.

Esta cartilla se ha escrito con el objeto de mostrar a los productores de palma de aceite, a los agrónomos, extensionistas, organismos estatales y al gremio palmero en general, la utilidad de los levantamientos de suelos, de la representación e interpretación del suelo en mapas e informes y la forma como pueden aprovechar esta información, para:

- Conocer mejor sus tierras
- Asesorar y manejar las plantaciones
- Adecuar la infraestructura del cultivo
- Apoyar las tareas de divulgación
- Apoyar la toma de decisiones para orientar la investigación.

externos tales como: relieve, vegetación, colores o tonos superficiales, además de sus conocimientos en geomorfología, para trazar las líneas de suelos sobre un mapa o una fotografía.

Levantamiento de suelos

En síntesis, son especialistas edafólogos y reconocedores los encargados de realizar la fotointerpretación, el trabajo de mapeo y muestreo, y el análisis e interpretación de datos de laboratorio necesarios para clasificar y obtener los mapas de suelos y sus derivados, por ejemplo, mapas de aptitud específica para el cultivo de palma de aceite.

Un levantamiento de suelos, es entonces, un estudio realizado por especialistas edafólogos, con el objeto de conocer la forma como se distribuyen los suelos en los distintos paisajes.

Para llevar a cabo esta tarea, el levantador de suelos recurre a observaciones e investigaciones de oficina, campo y laboratorio, con las cuales reconoce las características de los suelos, los clasifica en un sistema taxonómico y luego los representa cartográficamente en mapas.

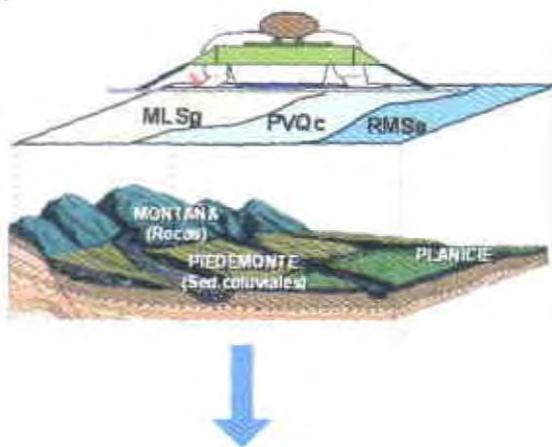
En la oficina, los reconocedores efectúan la labor de recolección de información y cartografía básica de clima, geología, geomorfología, vegetación, uso de la tierra y demás datos socioeconómicos que puedan ser de interés para el desarrollo del levantamiento de suelos.

Con esta información, inician el proceso de fotointerpretación, el cual da como resultado las fotografías interpretadas con las líneas de suelos y una leyenda preliminar a partir de la cual es posible iniciar la fase de campo (Figuras 2 y 3).

Ya en el campo, se realiza un recorrido general en el área de estudio para que el levantador se familiarice con los rasgos geomorfológicos y con los indicadores externos que le permitirán establecer una buena relación entre el suelo y los paisajes.

Una vez delimitada el área de estudio, el levantador procede a efectuar el chequeo y muestreo de los suelos, para lo cual elige el sistema o sistemas de mapeo más convenientes acorde con la escala del levantamiento.

Puede, por ejemplo, realizar muestreos en el centro de una cuadrícula de dimensiones conocidas (*red rígida*), hacer transectos (línea azul en la figura 3) longitudinales o transversales a las líneas fotointerpretadas, o realizar los chequeos teniendo en cuenta las variaciones de las formas del terreno



Clima	Paisaje	Tipo de Relieve	Forma del Terreno
Cálido y húmedo	Planicie aluvial	Plano de inundación	Cubeta
	Lomerío	Lomas	Ladera

Figura 2. Proceso de fotointerpretación para la generación de los mapas de suelos y la leyenda preliminar con base en la separación de paisajes.

Características del suelo

La caracterización del suelo incluye la descripción del sitio (ambiente) haciendo énfasis en los factores de formación y la observación de los rasgos morfológicos internos (horizontes).

Características de sitio

Se describen los atributos generales del perfil de suelo, tal como se muestra en el siguiente ejemplo:

Perfil No: CP-01

Tipo de descripción: calicata

Localización geográfica: Depto. Santander

Municipio: Puerto Wilches

Sitio: Finca Bucarelia

Latitud: 7° 14' 52.6" N

Longitud: 73° 50' 38.7" W

Altitud: 300 msnm

Fotografía aérea número: 338

Paisaje: planicie aluvial

Tipo de relieve: terraza subactual

Forma del terreno: plano de terraza

Material parental: aluviones medios

Clase de pendiente: a nivel

Grado de la pendiente: 0-1 %

Clima ambiental: cálido y húmedo

Régimen de humedad: údico

Régimen temperatura: isohipertérmico

Tipo y grado de erosión: no hay

Tipo y clase de pedregocidad superficial: no hay

Drenaje interno: medio

Drenaje externo: lento

Drenaje natural: bien drenado

Nivel freático: no se observa

Frecuencia inundaciones: no hay

Duración inundaciones: no hay

Profundidad efectiva: profunda

Vegetación natural: no hay

Uso actual: palma de aceite

Limitantes del uso: no se aprecian

Observaciones: todos los aspectos que el levantador considere de importancia y que aporten a la clasificación taxonómica y al uso y/o manejo del suelo.

Características Internas

Se describen los rasgos morfológicos de algunas propiedades físicas y se efectúan mediciones químicas (uso de reactivos y aparatos de medición en campo) para cada horizonte del perfil de suelo, tal como se ilustra en el siguiente ejemplo:

Los colores en húmedo, de la matriz y moteos: pardo grisáceo muy oscuro (2.5Y3/2); la textura (franco arcillosa); la estructura (bloques subangulares, fina, moderada); la consistencia en húmedo (friable) en mojado (ligeramente pegajosa y ligeramente plástica); la abundancia y

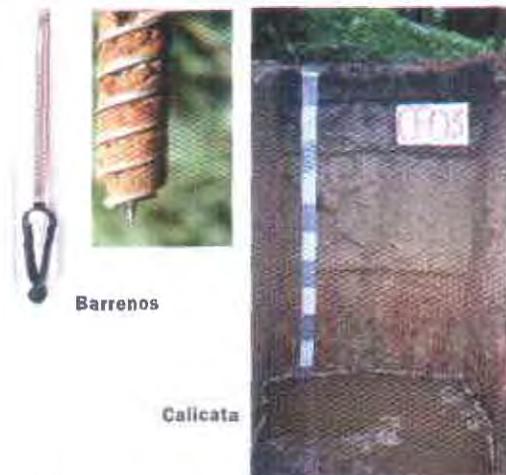


Figura 5. Barrenos para observación y calicata para descripción, muestreo y caracterización detallada del suelo. Fotos: William Fino, Nólver Arias



Figura 6. Pruebas de campo: infiltración, penetrabilidad, conductividad hidráulica. Fotos: Oscar Obando.

distribución de raíces (pocas, muy finas y finas, vivas, distribución normal); la actividad de macroorganismos (poca); el límite entre horizontes (claro y plano); el pH: (4.8, muy fuertemente ácido), la reacción al ácido clorhídrico, al peróxido de hidrógeno; mediciones adicionales de penetrabilidad y en algunos casos de resistencia tangencial al corte.

En cada horizonte descrito se toman muestras disturbadas para enviar a los laboratorios especializados de suelos, quienes realizan los análisis químicos y mineralógicos y muestras sin disturbar (en cilindros o terrones) para hacer pruebas físicas.

Los análisis químicos incluyen: pH, acidez intercambiable, CIC, carbono orgánico, materia orgánica, potasio, calcio, magnesio, sodio, aluminio, fósforo, azufre, boro, hierro, cobre, manganeso y zinc, en algunos casos conductividad eléctrica y determinación de sales y/o sodio.

Las determinaciones físicas incluyen: humedad gravimétrica y volumétrica, textura por los métodos de Bouyoucos y pipeta, densidades aparente y real, curvas de retención; porosidad total, macro, meso y microporos, límites de plasticidad y coeficiente de extensibilidad COEL.

Cuando el levantamiento es detallado se realizan determinaciones hidrofísicas adicionales en campo de conductividad hidráulica e infiltración (figura 6).

También, es necesario incluir análisis mineralógicos de las fracciones arena y arcilla que corroboran la clasificación taxonómica y apoyan la discusión de la fertilidad potencial del suelo.

Los resultados de las observaciones efectuadas en el campo y el laboratorio son la base para definir y clasificar tipos o clases de suelos, delinear las áreas ocupadas por estos (mapas) e interpretar los datos levantados con un propósito o fin práctico.

Clasificación de los suelos

La clasificación es un sistema concebido con el objetivo de transmitir información sobre los suelos y hacer posibles predicciones y generalizaciones. En ella se crean grupos que reúnen los suelos con el mayor número posible de características en común.

Cuadro 1. Comparación de la clasificación animales vs. la clasificación de los suelos.

ANIMALES		SUELOS	
reino	animal	orden	Inceptisol
tipo	cordados	suborden	Udept
clase	mamíferos	gran grupo	Dystrudept
orden	carnívoros	subgrupo	Fluventic
familia	félidos	familia	Fina, mixta,
género	Felis		isohipertérmica
especie	Felis catus	serie	Río Grande

De manera similar a como ocurre en otros sistemas de clasificación de plantas o animales, la taxonomía que se utiliza en Colombia para agrupar los suelos está estructurada en distintas categorías o niveles jerárquicos superiores que son, de mayor a menor: *orden*, *suborden*, *gran grupo* y *subgrupo*, y luego van los rangos jerárquicos inferiores, *familia* y *serie* (Cuadro 1).

Adicionalmente y con fines prácticos, es posible hacer subdivisiones de una clase taxonómica por pendiente, erosión, pedregosidad, inundaciones, etc. Estas subdivisiones son denominadas fases.

El sistema taxonómico americano Soil Taxonomy reconoce dos tipos de horizontes de diagnóstico: superficiales o *epipedones* (epi= exterior; pedon= suelo) y subsuperficiales o *endopedones*.

Los *epipedones* son: mólico, úmbrico, antrópico, plaggen, hístico, melánico, sálico, ágrico, sómblico, glósico y álbico; y los *endopedones*, son: cámbico, óxico, argílico, nátrico, kándico, espódico, cálcico, petrocálcico, plácico, gypsico, petrogypsico, fragipán, sulfúrico y duripán.

Las diferencias entre ellos están dadas por variaciones en características tales como: color, desarrollo de estructura, contenido de materia orgánica, textura, grado de saturación de bases, saturación de sodio, presencia de carbonatos o de yeso, porcentaje y distribución de arcilla, capacidad de cambio, entre otras.

Cada una de las categorías superiores de la taxonomía tiene asociados elementos formativos, en el Cuadro 2, se ilustran los correspondientes al *orden*.

De una forma similar a como ocurre con el orden, se van armando los nombres para los *subordenes*, con los elementos formativos de características diagnósticas, por ejemplo, para los regímenes de humedad: *Xer*-(xérico), *Ust*-(ústico), *Ud*-(údico), *Torr*-(tórico), *Aqu*-(acúico); para los horizontes *Alb*-(álbico), *Arg*-(argílico); *Calc*-(cálcico) *Plagg*- (plagen), *Ochr*-(ôcrico); para los diferentes grados de descomposición de la materia orgánica: *Fol*-(fresca), *Fibr*-(poco); *Hem*-(mediana); *Sapr*-(fuerte); para otras propiedades relacionadas con el material de origen *Vitr*-(vidrio volcánico) o con la textura del suelo *Psamm*-(arena).

Cuadro 2. Elementos formativos de los nombres en la categoría de orden.

ORDEN	ELEMENTO FORMATIVO
Histosoles	-ist
Espodosoles	-od
Andisoles	-and
Oxisoles	-ox
Vertisoles	-ert
Aridisoles	-id
Ultisoles	-ult
Mollisoles	-oll
Alfisolos	-alf
Inceptisoles	-ept
Entisoles	-ent
Gelisoles	-el

Los elementos formativos de *grandes grupos* y *subgrupos* son casi los mismos del *suborden*, con la salvedad de que en los *subgrupos* caben otros elementos formativos, como *Typic*, si se trata de un suelo que alcanza el concepto central (típico) del orden y no de un suelo cuya evolución lo está haciendo intergradar hacia otro *orden* o *suborden*.

Un ejemplo de un suelo que podría estar evolucionando hacia otros órdenes sería: un Inceptisol que tiende a Vertisol (*Vertic*), o que tiende a Andisol (*Andic*) o que tiende a Oxisol (*Oxic*).

En síntesis, para armar el nombre de un suelo se procede como en un juego de "scrabble" el cual permite combinar de distintas maneras sílabas (los elementos formativos) para formar palabras (los nombres de los suelos).

La Figura 7 ilustra de forma esquemática como los suelos de un mismo orden se van subdividiendo con base en criterios de diferenciación en clases diferentes correspondientes a otras categorías dentro del sistema de clasificación.

En países como Colombia, por los altos costos de los levantamientos, la mayoría de los suelos se clasifican hasta el Subgrupo y se representan en mapas de escalas generales 1:100.000 o semi detallados 1:50.000. La información de estos levantamientos, aunque es muy útil para la planificación, es insuficiente para suplir las necesidades de información que se requieren para manejar adecuadamente los cultivos.

Cultivos como la caña de azúcar, el banano, o la palma de aceite, por su importancia económica, precisan de información más detallada, la cual se logra aumentando la escala de los levantamientos a 1:25.000, 1:10.000 y en algunos casos 1:5.000.

La unión de los elementos formativos da lugar al nombre del suelo clasificado a nivel de suborden, por ejemplo, *Floventic Dystrudept* corresponde a un suelo del orden *Inceptisol (ept)*, con régimen de humedad *údic (ud)* y saturación de bases menor a 60% (*Dystr*), con *curva irregular de carbono orgánico (CO)* o contenido de CO > 0,25% a 125 cm de profundidad (*Floventic*).

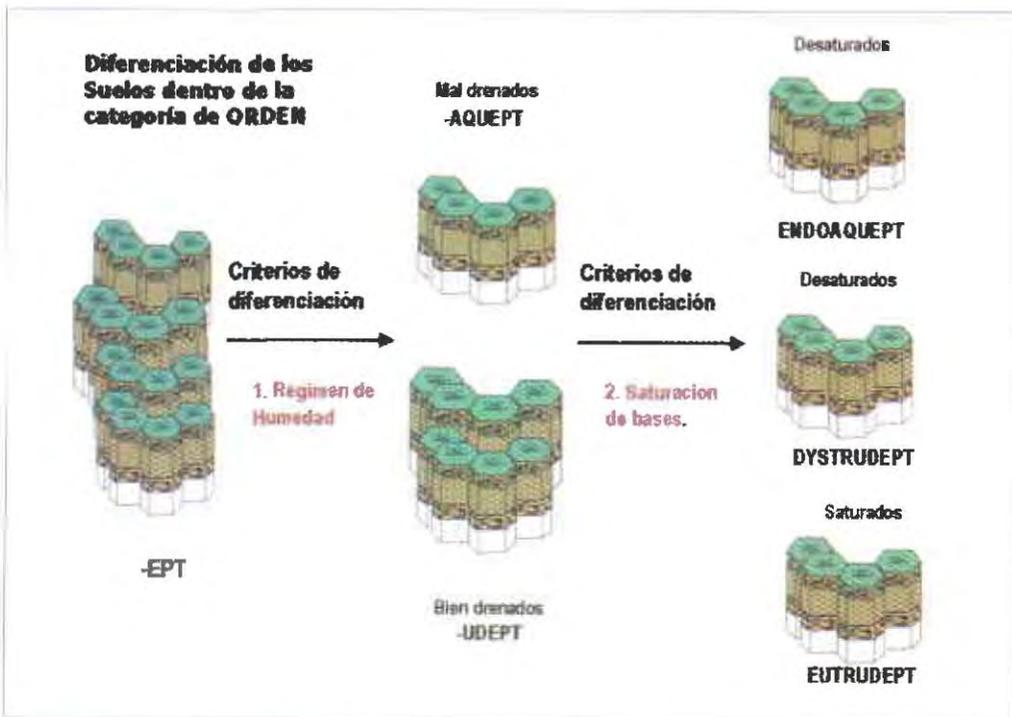


Figura 7. Esquema de la subdivisión de un orden de suelos con base en criterios de diferenciación.

En los levantamientos detallados, los suelos son clasificados en los denominados niveles taxonómicos inferiores, *familias* y *series* y son subdivididos en tantas fases como sean necesarias para facilitar el manejo de los cultivos.

Familias y series

Las *familias* y las *series*, responden a propósitos pragmáticos. Los nombres de las clases de *familia* son técnicos y descriptivos, y corresponden a criterios definidos para la sección *control*, esto es, una parte del perfil de suelo, sobre la cual se hacen las observaciones y cuyos límites son específicos para cada parámetro y/o taxón (cuadro 3).

La función de la *serie* es pragmática, y se usa para mostrar las diferencias dentro de una *familia* que afectan el uso de un suelo.

La separación de suelos en Series se puede basar en cualquier característica que se utilice como criterio en niveles más altos del sistema. Los criterios usados con mayor frecuencia incluyen la expresión de los horizontes diagnóstico con separación por presencia de, profundidad a, espesor de, textura, mineralogía, humedad del suelo, temperatura y cantidades de materia orgánica, entre otras.

Cuadro 3. Clases de familias taxonómicas.

CLASES	EJEMPLO
· Distribución por tamaño de partículas	· fina, franca fina fragmental, esqueletal
· Mineralogía,	· caolinitica, silicea
· Actividad	· superactiva, activa
· Reacción	· calcárea, ácida
· Régimen de Temperatura	· isotérmico, isohipertérmico
· Profundidad	· superficial, profunda
· Resistencia a la ruptura	· orstein (Duro)
· Encostramiento	· encostrada
· Grietas	· grietas

Fases

Las subdivisiones por *fase*, también se hacen con fines pragmáticos, pero su diferencia con la *serie* radica en que, la subdivisión por *fase* se puede hacer en cualquier categoría taxonómica,

por ejemplo en la de orden, es posible diferenciar los Oxisoles por clima, subdividiéndolos en Oxisoles de clima cálido y húmedo, y Oxisoles de clima cálido y seco.

Al nivel de *familia*, se pueden hacer subdivisiones por *fases* de:

En síntesis, los suelos, al igual que otras series vivas, pueden ser agrupados en clases muy diversas a diferentes niveles categóricos, teniendo en cuenta un determinado número de características comunes y distintos niveles de detalle, los cuales suplen objetivos generales o específicos.

- Textura de la capa superficial
- Capas superficiales orgánicas
- Pedregosidad del suelo (interna)
- Pedregosidad superficial
- Profundidad efectiva
- Encharcamientos, inundaciones
- Salinidad, sodicidad
- Espesor del solum y,
- Sustrato

Mapas de suelos

Una vez los suelos han sido agrupados en clases taxonómicas, es necesario representar convenientemente su ubicación y distribución geográfica en mapas, de manera que, éstos representen la forma como ellos se encuentran distribuidos en los paisajes.

Unidades Cartográficas

En un mapa, cada área circunscrita totalmente por límites de suelo (*polígonos*) se denomina *delineación de suelos* y el conjunto de delineaciones de suelos que tienen el mismo nombre o el mismo color constituyen lo que se denomina una *Unidad Cartográfica (UC)*. Estas, a su vez contienen a las *Unidades Taxonómicas (UT)*, tipos o clases de suelos.

Hasta aquí, conviene distinguir tres conceptos: el suelo como cuerpo natural (ente real que podemos muestrear), el tipo de suelo (la clase taxonómica) y la unidad cartográfica (mancha en el mapa "igual símbolo o color" que representa el área que ocupa el suelo).

Dada la compleja distribución de los suelos, es necesario distinguir varias clases de unidades cartográficas:

Las *consociaciones*, son unidades sencillas constituidas por una clase dominante de suelos (Figura 8).

En una *consociación* el área de la unidad está dominada por una sola clase de suelo (*taxón*) y suelos similares.

Las *asociaciones* son unidades conformadas por más de una clase de suelo, en las que es posible establecer las pautas de distribución en el paisaje. Si la escala del mapa fuese mayor sería posible separarlas en más de una UC (Figura 9).

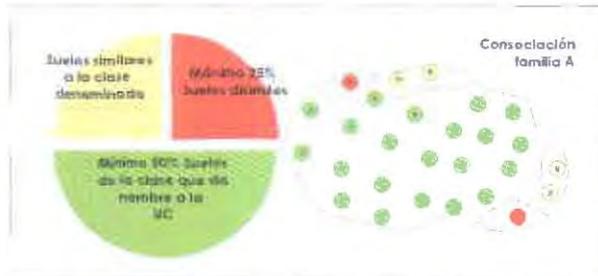


Figura 8. Representación gráfica de una consociación de suelos.



Figura 9. Representación esquemática de una asociación de suelos.

Los *complejos*, son similares a las asociaciones, se diferencian de éstas porque, aunque la escala del mapa sea más grande, estas unidades no pueden separarse.

Las asociaciones y complejos contienen dos o más taxones *disímiles* o áreas misceláneas que se presentan en un *patrón conocido*. Para determinar si se usa una u otra *unidad cartográfica* se sigue la siguiente regla arbitraria: los componentes principales de un *complejo* no se pueden cartografiar por separado a una escala de 1:24.000; en cambio, en una *asociación* los componentes pueden ser cartografiados a esta escala.

Los *grupos indiferenciados*, son unidades complejas compuestas por dos o más taxones que no están asociados geográficamente en forma consistente; se incluyen en la misma unidad cartográfica porque el uso y manejo es el mismo o muy similar. Generalmente están limitadas por pedregosidad, humedad, pendiente.

Es importante destacar el hecho de que una *unidad cartográfica* representa sólo una *aproximación a la realidad geográfica*. Es decir, que cada *unidad* representa al *suelo*, o los *suelos*, más *frecuentes* en esa *zona*, pero no quiere decir que en la *práctica* no se puedan encontrar otros *suelos* *distintos*, si bien, estos existen, ocuparan poca *extensión*.

Las *áreas misceláneas*, son zonas de no suelo, que cuando se incluyen en el mapa se designan como:

- Áreas urbanas
- Afloramientos rocosos
- Arenales
- Playas
- Áreas de nieves permanentes
- Masas o cuerpos de agua

Los *suelos dominantes* son los que dan el nombre a la *unidad* y representan al menos el 75%. En tanto que los *suelos ocasionales* dentro de la *unidad*, se denominan *inclusiones* y no deben ocupar más del 25% del *área*.

El objetivo final del mapa de suelos es definir las *unidades cartográficas de suelos* de una *región* y *delinearlas*.

El mapa de suelos, tal como se observa en la *Figura 10*, está *integrado* por un *título*, el *cuerpo del mapa* (contiene las *unidades cartográficas*), las *convenciones*, *mapa de localización* y la *leyenda general*.

El *título* hace alusión al *nivel de detalle del levantamiento*, el *área de proyecto* y el *nombre de la finca* o *palmar*, en este caso particular.

En la *esquina superior derecha* se consigna un *cuadro* con *información del país*, *departamento* y *municipio*. Se *dispone un lugar* para *indicar la localización del área de estudio* dentro del *municipio*, las *convenciones* y la *escala*.

La *escala* determina el *tamaño* que tendrán los *objetos del mapa*, una vez se ha *impreso* o *desplegado*, en *relación con el tamaño real* de los *objetos que representan*.

La escala se expresa como 1: XXX, que en realidad representa una fracción 1/XXX.

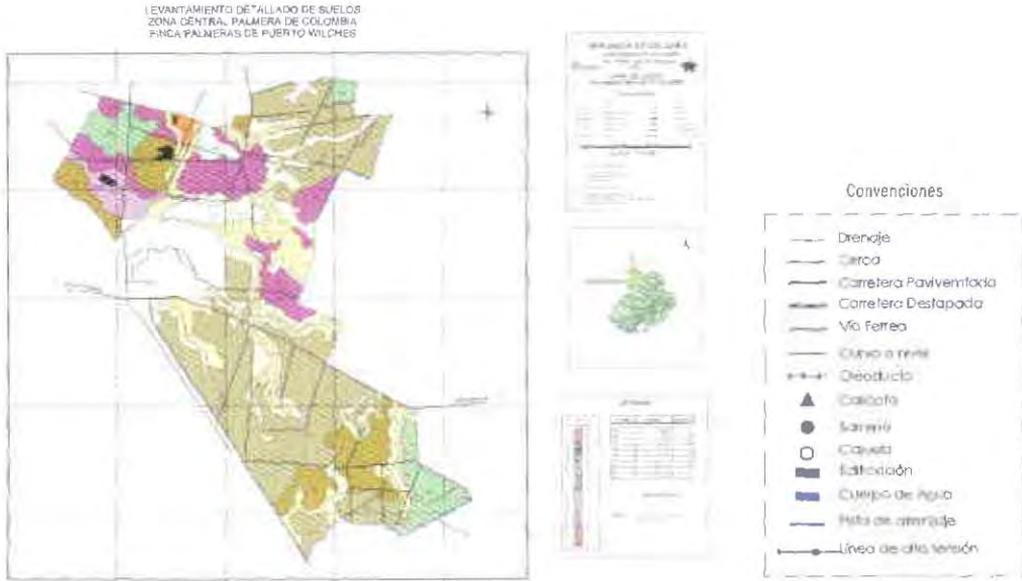


Figura 10. Mapa de suelos.

Para un mapa impreso, el denominador de este cociente se calcula con la relación:

$$E = \frac{\text{distancia entre dos puntos en el terreno}}{\text{distancia entre los mismos puntos en el mapa}}$$

Para especificar una escala 1:10.000, se dice que el mapa esta "a escala 10.000", nunca que su escala es 0.0001, ya que esto induciría confusión, por esta razón las nociones de "escala grande" y "escala pequeña" son referidas al cociente 1/XXX. Así, entre más grande sea el número a la derecha de los dos puntos, la escala del mapa será menor. La escala 1:5.000.000 es muy pequeña comparada con la 1:5.000.

Se dice que, una escala es *pequeña* cuando se tiene un mapa que muestra grandes porciones de territorio (países, continentes, órdenes de suelos) y una escala es *grande* cuando se obtienen mapas detallados que muestran las características específicas de un espacio (una ciudad con sus calles y manzanas o una finca con sus fases de familias de suelos).

La escala siempre es una información que debe aparecer explícita en el mapa y se representa gráfica y/o numéricamente.



En la parte inferior derecha del mapa se dispone la *leyenda general* que muestra la paleta de colores y sus respectivos símbolos, la cantidad de hectáreas ocupadas por cada unidad y el porcentaje relativo de ésta con relación al total del área estudiada o al total de la finca.

El mapa está acompañado por una *leyenda detallada*, la cual traduce la información y enlaza los datos del mapa con la memoria técnica o informe del levantamiento de suelos.

Información contenida en la leyenda

La leyenda organiza jerárquicamente los atributos externos del suelo y ubica espacialmente los suelos dentro del paisaje, ligando la información espacial a la de atributos a través del símbolo.

Para simplificar este concepto, a continuación se describe la Unidad Cartográfica identificada con el símbolo de (BU_p) (Cuadro 4).

Cuando en el área de levantamiento hay más de un clima, la leyenda tiene una entrada climática, una columna dedicada a señalar el piso *térmico* (cálido) y la provincia de *humedad* (subhúmeda) dentro de la cual se encuentra el paisaje y por ende el suelo.

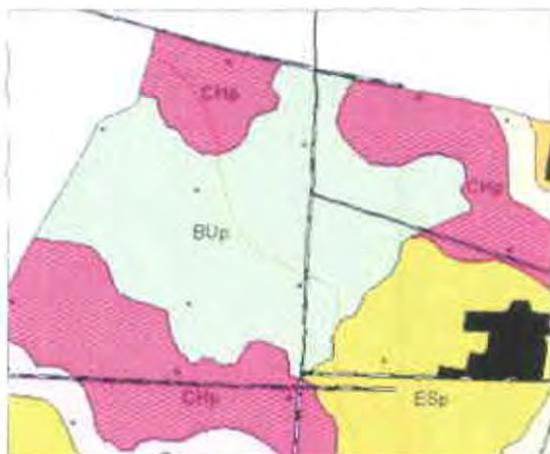


Figura 11. Detalle del mapa de suelos que ilustra la Unidad Cartográfica BU_p.

En el caso particular de áreas con un solo clima, la leyenda tiene una entrada geomorfológica que ubica al suelo en una determinada posición dentro del paisaje, por ejemplo, la unidad BU_p que aparece en el mapa (Figura 11) de color en la leyenda identifica a los suelos ubicados en el *paisaje* (planicie aluvial), en el *tipo de relieve* (terrazza baja), en la *forma del terreno* (plano de terraza).

Cuadro 4. Aparte de la leyenda del mapa de suelos correspondiente a la unidad BU_p.

Paisaje	Tipo de relieve	Forma de terreno	Material parental	Características generales de los suelos en la Unidad Cartográfica
Planicie aluvial	Terraza baja	Plano de terraza	Aluviones medios	Relieve a nivel, bien drenados, texturas medias, extremadamente ácidos, bajo contenido de materia orgánica, mediana retención de humedad, alta saturación de aluminio y baja fertilidad.

Continuación....

Unidad cartográfica	Unidad taxonómica	%	Perfil	Nombre vernáculo	Símbolo
Consociación	Fluventic Dystrudept, familia franco fina, caolínica e isohipertérmica.	80	CP07	Bucarelia	BU _p
	Fluventic Dystrudept, familia fina, caolínica e isohipertérmica	10	CP53	Peroles	
	Fluventic Dystrudept, familia franco fina sobre esquelética franca, isohipertérmica	10	CP35	Los Mandarinos	

Como complemento a la geomorfología, se dispone una columna para consignar el tipo de *materia parental* (roca o rocas) a partir del cual han evolucionado los suelos (aluviones medios).

Una vez se ha establecido el marco de referencia espacial del suelo (geología y geomorfología) en el paisaje, se procede a la descripción de los suelos; para lograrlo se dispone dentro de la leyenda un lugar para la Unidad Cartográfica.

La descripción de la Unidad Cartográfica se inicia con una columna que describe las principales características comunes a los suelos que componen la Unidad Cartográfica, en éste caso (BU_p), (relieve a nivel, suelos profundos, bien drenados, de texturas medias, extremadamente ácidos, bajo contenido de materia orgánica, mediana retención de humedad, altas saturaciones de aluminio, baja fertilidad).

En la siguiente columna se coloca el tipo de *Unidad Cartográfica* (consociación); a continuación se colocan los componentes o *unidades taxonómicas* (Fluventic Dystrudept, familia franco fina, caolínica e isohipertérmica, 80%), perfil modal (CP07), un nombre vernáculo (Bucarelia) que se designa arbitrariamente para facilitar la comprensión del estudio por parte de los usuarios.

En la misma columna se colocan los suelos encontrados como inclusiones con sus respectivos porcentajes (Fluventic Dystrudept, familia fina, caolínica e isohipertérmica, 10%) (Peroles, CP53) y (Fluventic Dystrudept, familia franco fina sobre esquelética franca, isohipertérmica, 10%) (Los Mandarinos, CP35).

Luego, aparece el símbolo que identifica la Unidad Cartográfica y su fase por pendiente (BU_p).

El símbolo esta compuesto por letras mayúsculas, en este caso (BU) se ha asignado arbitrariamente y se asocia al nombre vernáculo del suelo dominante en la unidad cartográfica (suelo Bucarelia).

A las letras mayúsculas las acompaña una o más letras minúsculas; (p) hace referencia a la fase por grado de la pendiente, la cual se clasifica, así:

- p: a nivel (0-1%)
- a: casi plana (1-3%)

- b: ligeramente ondulada (3-7%)
- c: ondulada (7-12%)
- d: moderadamente ondulada (12-25%)
- e: fuertemente ondulada (25-50%)
- f: quebrada (50-75%)
- g: fuertemente quebrada (>75%)

En la columna contigua al símbolo, se coloca la extensión en hectáreas ocupada por la unidad cartográfica y el porcentaje relativo que esta ocupa en la totalidad del área estudiada o de la finca.

Tal como se ha mencionado, un mapa de suelos y su leyenda cumplen un papel predictivo importante acerca del comportamiento que tendrá un suelo al permitir al usuario conocer sus propiedades.

Sin embargo, la información contenida en el mapa y en la leyenda no siempre es suficiente, por tal razón uno de los productos del levantamiento de suelos es la memoria técnica.

La memoria técnica

Es el documento resultante del levantamiento de suelos, en el que se presentan los detalles de su elaboración y resultados e incluye una descripción morfológica y analítica de las características de cada una de las unidades cartográficas que aparecen en el mapa, con los atributos de los componentes taxonómicos.

El informe de suelos está estructurado de la siguiente forma:

1. Un capítulo de introducción.
2. Un capítulo de generalidades, en el que se consigna información acerca de:

La *localización y extensión* del área de estudio, se describen sus límites y coordenadas extremas.

La *geología*; en él, se realiza una explicación muy general y de carácter regional de los principales grupos y formaciones geológicas, las cuales han dado origen a los diversos suelos. Este trabajo se hace con base en estudios previos realizados por Ingeominas, Ecopetrol u otras entidades expertas en el tema.

La *geomorfología*; en donde se describen las principales características de los paisajes, tipos de relieve y formas del terreno, la dinámica actual de los mismos, la morfología (grado, forma, longitud de la pendiente), grado de disección del relieve, existencia de microrelieves y demás rasgos que permitan establecer una buena relación suelo-paisaje.

La *hidrografía*, los ríos principales y sus afluentes, así como la importancia de estos en micro y macrocuencas.

Al *clima*, se le da especial importancia, ya que éste es determinante en el tipo de cultivo que puede tener éxito en una región. Se discuten aspectos relacionados con la temperatura (máxima, mínima,

promedio), precipitación (máxima, mínima, promedio, distribución), se elaboran balances hídricos y/o *climadiagramas* que le permiten al usuario identificar épocas de exceso o déficit de agua.

3. Un capítulo que se dedique a la descripción de la metodología de elaboración del levantamiento de suelos e incluye cada una de sus etapas:

- Compilación información
- Fotointerpretación
- Trabajo campo
- Elaboración de la cartografía
- Análisis de laboratorio y de campo físicos, químicos y mineralógicos

4. El capítulo descripción de perfiles y Unidades de Suelos. En él, se redacta la información detallada de la unidad cartográfica resaltando su ubicación (con base en el mapa), *geomorfología*, geología, clima y demás propiedades comunes a los suelos que integran la unidad.

Se discute brevemente, la distribución de los suelos en cada forma del terreno y el porcentaje que ocupa cada componente taxonómico dentro de la unidad.

Para cada suelo, se describe el perfil modal y se discuten las propiedades físicas, químicas y mineralógicas; se resaltan aquellas propiedades que diferencian a cada suelo y que justifican su clasificación taxonómica hasta el nivel de detalle acorde con la escala del levantamiento. Finalmente, se mencionan las fases separadas dentro de la unidad cartográfica.

5. Un capítulo especial, se dedica a la interpretación de las características de los suelos, mediante un proceso de evaluación, gracias al cual, es posible identificar los factores que limitan la productividad de las tierras.

La *clasificación de aptitud las tierras para el cultivo de palma de aceite* sirve como guía al productor para apoyar la toma de decisiones en cuanto al manejo de su cultivo.

Esta clasificación agrupa las tierras en órdenes, clases, subclases y unidades de manejo. Para cada una de ellas se describe los niveles de restricción por clima, nutrientes, humedad, disponibilidad de oxígeno, inundaciones, posibilidades de mecanización y facilidad de enraizamiento, entre otras.

Al final se obtienen clases que tienen restricciones comunes y para ellas se definen prácticas de manejo adecuadas a su condición.

El informe se complementa con un glosario, la bibliografía y los anexos: tablas, figuras, descripción de las réplicas de los perfiles modales, etc.

Sistematización de la información

Para optimizar el uso de la información de un levantamiento es necesario ligar los datos espaciales a los atributos internos y externos del suelo (Figura 12).

En el pasado, en la memoria técnica sólo se publicaba los datos referidos a los perfiles modales; la información de cajuelas y barrenos se descartaba, perdiéndose casi el 80% de los datos colectados.

Gracias a la existencia de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), ahora es posible almacenar y manipular grandes volúmenes de datos. También, con la ayuda de GPS, se puede referenciar las observaciones de tal manera que el usuario puede apreciar el rango de variación de las características de los suelos.

Otro aspecto importante es la posibilidad de fusionar la información resultante de la interpretación de fotografías o imágenes de satélite con los atributos de las unidades de suelos.

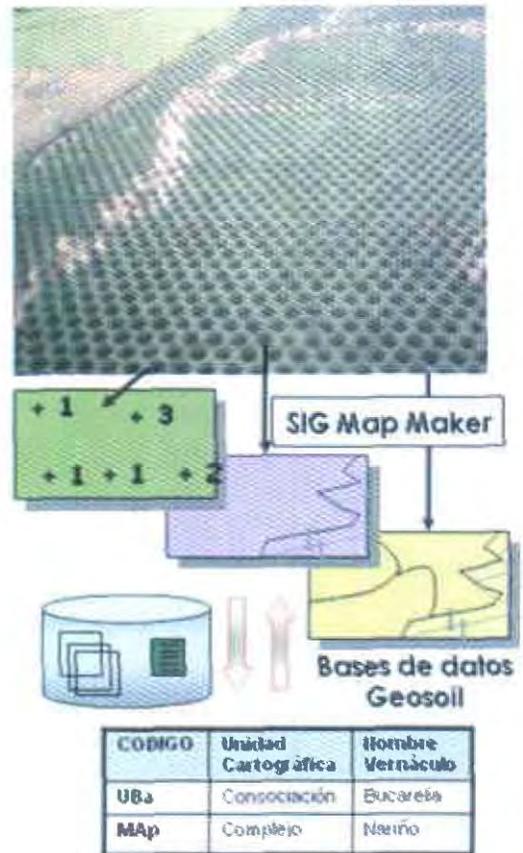


Figura 12. Sistematización de información de suelos con bases de datos y SIG.



Figura 13. Base de datos GEOSOIL

La existencia de bases de datos diseñadas para almacenar, analizar y manipular información de suelos, como el Sistema Georreferenciado de Indicadores de Calidad del Suelo Geosoil (Figura 13), le permite a los usuarios adicionar, consultar y obtener reportes de la información de suelos, del clima, geología, geomorfología, uso actual, de las características morfológicas de los horizontes y de los análisis de laboratorio.

Toda esta información puede ser visualizada en un SIG y el usuario la utiliza para apoyar la toma de decisiones en asuntos concernientes al manejo de los suelos.

Utilidad de los levantamientos¹

El levantamiento de suelos, de acuerdo con su nivel de detalle (exploratorio, general, semidetallado, detallado y ultradetallado) tiene aplicaciones para la toma de decisiones a diferentes niveles de actuación; para los dos primeros, por ejemplo, son reconocidas las interpretaciones con fines de ordenamiento territorial, zonificación agroecológica, forestal, vocación de uso de las tierras, conflictos de uso y clasificación por capacidad de uso o clases agrológicas. En este grupo, es importante mencionar el estudio realizado por Cenipalma y Corpoica en 1999 tendiente a zonificar las tierras del trópico bajo colombiano con potencialidad para el cultivo de palma de aceite (Romero, Moreno y Munévar, 1999).

Levantamientos generales y de escalas mayores son útiles en la definición de áreas homogéneas para catastro, evaluación de tierras por su aptitud para cultivos específicos, planificación para usos forestales, pecuarios, agrícolas, así como también para usos no agrícolas, áreas de protección y conservación de los recursos naturales, vida silvestre y áreas para la protección y producción de agua, entre otros.

Un levantamiento general a escala 1:100.000 es útil en planificación del uso de los suelos en una región o en un departamento y ofrece valiosa información sobre los suelos y su distribución geográfica de manera general; no obstante, su nivel de detalle no es el más adecuado para satisfacer las necesidades de información de los productores de palma de aceite, quienes requieren de datos confiables sobre los suelos presentes en su plantación y en esa medida, programar las prácticas de manejo más recomendables (drenaje, fertilización, descompactación, enmiendas, etc).

En el sector palmicultor los levantamientos edafológicos semidetallados y detallados (escalas 1:25.000 y 1:10.000) con que se cuente en el futuro, tendrán directa utilización en la planificación del uso de las tierras en la zona palmera, así como para el manejo agronómico específico por unidades relativamente homogéneas dentro de la plantación.

En la planificación, los levantamientos proveen la información necesaria para rechazar o seleccionar de manera técnica las tierras para los nuevos cultivos de palma de aceite. En áreas ya establecidas, brindan los elementos técnicos para delimitar áreas que comparten suelos con similares potencialidades y limitaciones para el cultivo, y que son uno de los componentes básicos para el diseño y delimitación de Unidades de Manejo Agronómico (UMA) en palma de aceite. La selección de las tierras más aptas en condiciones naturales para el cultivo de palma de aceite

1. Sección escrita por Edna Margarita Garzón G. y Fernando Munévar M.

se constituye en una de las tareas básicas dentro del propósito de ser competitivos con principios de sustentabilidad ambiental y económica.

La mayor aptitud biofísica implica iniciar el proyecto de siembra y cultivo de palma en áreas que ofrecen ventajas naturales en términos de calidad de suelos, disponibilidad de agua y condiciones ambientales, que en sumatoria, inciden en mayores rendimientos por área, menores riesgos fitosanitarios y ambientales y en consecuencia, menores costos de producción.

Como resultado de lo anterior, el levantamiento de suelos debe formar parte del estudio de factibilidad técnica y económica para emprender cualquier proyecto productivo en palma de aceite (Munévar, 2004) y permite detectar a tiempo las necesidades de inversión en adecuación de tierras en cuanto a:

- Irrigación
- Drenaje
- Nivelación y movimiento de volúmenes de suelo
- Control de inundaciones
- Sistemas de siembra (bancales, terrazas, camellones, etc)
- Recuperación y manejo de suelos degradados por erosión, movimientos de remoción en masa (pata de vaca), sales y sodio
- Enmiendas y fertilización por baja fertilidad natural de los suelos y altas concentraciones de elementos tóxicos para el cultivo (Al^{+++} , Mn, sales, etc)
- Recuperación de suelos con problemas de sales solubles, sodio intercambiable o ambos
- Remoción de fragmentos gruesos (gravilla, piedras y pedregones) de la superficie de los suelos o dentro del perfil del mismo
- Mecanización.

Los suelos generalmente no son homogéneos, sus propiedades, incluyendo la fertilidad, varían en el tiempo y de un lugar a otro, inclusive a través de los diferentes horizontes de un mismo perfil; el conocimiento de esta variabilidad y su representación espacial son el producto principal de los levantamientos de suelos.

Cuando se fertiliza una plantación con base en un promedio, existirán sectores sub-fertilizados y otros sobre-fertilizados. En palma de aceite, el rubro correspondiente a la fertilización representa aproximadamente el 30% del total de costos de producción en estado adulto, por lo tanto, sobre o sub nutrir áreas de cultivo se traduce en pérdidas en eficiencia y efectividad de la inversión realizada.

Una característica desfavorable en el suelo puede limitar su uso de tal manera que se requiera un tratamiento específico para su manejo; múltiples y menores características desfavorables colectivamente pueden convertirse en un problema mayor y también limitar el uso de ese suelo.

El análisis de la combinación de efectos restrictivos presentes en los suelos en relación con las condiciones requeridas para el adecuado desarrollo, manejo y productividad de la palma de aceite, es la técnica usada para definir las diferentes unidades de aptitud para la palma en un predio (Munévar, 2004).

Si las restricciones identificadas son factibles de modificar a un costo ambiental y económico razonable, se justifica delimitar clases de suelos y establecer un manejo agronómico específico y diferencial con la predicción de obtener respuestas también relativamente similares en el tiempo. Si las restricciones son muy severas y originadas en factores incontrolables o difícilmente manejables por el productor (texturas extremas, alto riesgo de inundaciones, pendientes pronunciadas, etc) lo ideal es rechazar o descartar esta unidad o globo de terreno para palma de aceite.

Con base en los requerimientos ecológicos y de manejo de la palma de aceite para un óptimo desempeño, se establecen los criterios para identificar grados de restricción o de satisfacción de estos requerimientos, empleando para ello las características y cualidades de los suelos identificados y registrados en el levantamiento.

Un levantamiento ligado a la identificación y delimitación espacial de las restricciones de los suelos para el cultivo permite a los usuarios planear alternativas razonables para su uso y manejo, como se explica a continuación a través de algunos ejemplos específicos.

1. La deficiencia de humedad causada por razones climáticas es modificada por el almacenamiento de humedad del suelo el cual, es más bajo para suelos arenosos y/o suelos poco profundos y más alta para los suelos francos, profundos, o arcillosos bien estructurados. Para interpretar esta cualidad se tiene en cuenta también, la cantidad y distribución de la precipitación efectiva durante el año, la hidrología y el relieve del lugar.

2. Suelos con mucha grava y piedras dentro del perfil, además de presentar obstáculos para el normal desarrollo radical, también tienen reducido el espacio o volumen de almacenamiento de agua y nutrientes para el cultivo (Figura 14).

3. Suelos con restricciones en la capacidad de aireación (drenaje pobre) predisponen la palma de aceite a enfermedades, limitan la absorción de nutrientes, reducen la mineralización de la materia orgánica, aumentan la solubilidad de óxidos e hidróxidos de Fe y Mn e interrumpen la actividad de organismos aeróbicos con consecuencias en los ciclos biogeoquímicos de nutrientes como el N, P, S, entre otros.



Figura 14. Suelo limitado por baja profundidad efectiva y abundantes fragmentos de roca. Foto: Fernando Munévar.

4. Suelos con baja disponibilidad de nutrientes encarecen los planes de fertilización requiriendo ser nivelados químicamente para obtener altos rendimientos; suelos ácidos, evolucionados, ricos en óxidos libres de Fe y alta saturación de aluminio tienden a fijar el P en formas no aprovechables por las plantas. Suelos arenosos además de que no retienen suficiente humedad para el cultivo, contienen muy baja cantidad de nutrientes para la palma, no tienen suficiente capacidad para retenerlos cuando son adicionados en la fertilización y además permiten su pérdida por lixiviación.

5. Suelos con una baja capacidad para retener nutrientes requieren que se modifiquen las fuentes, frecuencia y dosis de aplicación en el año, intentando balancear o equilibrar las adiciones con las pérdidas causadas por lixiviación. En la evaluación de esta cualidad se tienen en cuenta características tales como la CIC, contenido de M.O (%), textura, permeabilidad y la forma y disposición de la pendiente.

6. Suelos con una baja profundidad efectiva restringen el desarrollo de un sistema radical efectivo con consecuencias en la nutrición, anclaje, absorción de agua, entre otras. Las condiciones para el enraizamiento dependen de la profundidad efectiva del suelo y de la facilidad de penetración de las raíces. En su evaluación se emplean características tales como la estructura, densidad aparente, el porcentaje de piedras y grava, la resistencia a la penetración, profundidad del nivel freático, drenaje natural, entre otras.

En el levantamiento de suelos se registra y localiza la presencia de horizontes diagnósticos que bien pueden ser un limitante físico de la profundidad efectiva o bien barreras tóxicas; entre otros se citan los horizontes nátricos, sulfúricos, cálcicos, plácicos, dénsicos, fragipanes, duripantes, corazas de hierro, plintita, contactos líticos y paralíticos y los cambios texturales abruptos.

7. El drenaje deficiente y la inundación no son necesariamente coincidentes. La probabilidad de daño por inundaciones es mayor en las planicies aluviales bajas, en las vegas de los ríos y en áreas donde los ríos desembocan de las cuencas montañosas para entrar a zonas planas o llanuras de inundación.

8. La salinidad y/o sodicidad afectan al cultivo retardando su crecimiento por inhibir la absorción de agua, causar toxicidad e indirectamente por la degradación de la estructura del suelo (estructuras masivas, sellamiento superficial) que disminuye la permeabilidad y el movimiento del agua y aire a través del perfil.

9. Las toxicidades del suelo agrupan condiciones sumamente diferentes que afectan al cultivo en una región e incluyen la toxicidad por aluminio, manganeso, sodio, hierro, sulfatos y otras sales solubles.

10. Suelos de texturas arcillosas muy finas con bajo desarrollo de estructura, muy pegajosos y muy plásticos son difíciles de labrar; igualmente, la labranza y las actividades de recolección de la cosecha se dificultan en suelos localizados en relieves de pendientes pronunciadas y con presencia de gravas o piedras en la superficie del terreno y en el perfil.

En síntesis, con la aplicación de estos criterios se busca identificar las áreas del predio que reúnan la mejor combinación de características morfológicas, químicas y físicas para producir sosteniblemente altos rendimientos de aceite de palma de una manera económica y ambientalmente amigable.

La interpretación de las características de los suelos con fines de establecer unidades de aptitud para palma de aceite y su posterior conversión a UMA, se constituye en una primera aproximación del sector palmero hacia las nuevas tecnologías de Agricultura de Precisión (AP) y de prácticas de Manejo por Sitio-Específico (MSE) las cuales, buscan medir y manejar la variabilidad espacial para aumentar la eficiencia productiva y disminuir el impacto ambiental.

Recordemos, no toda la finca requiere y conviene ser sembrada en palma de aceite; con el levantamiento de suelos se puede identificar y separar dentro del predio, áreas que es mejor destinarlas para la conservación y restitución de la biodiversidad, protección de recursos naturales y productivos, aportando así a la sostenibilidad ambiental y a la del negocio.

UNIDAD DE MANEJO AGRONÓMICO (UMA)

Es una unidad espacial de cultivo de palma de aceite dentro de la cual hay una relativa homogeneidad de las características de los recursos biofísicos que intervienen en la producción: clima, suelo, agua, material de siembra y edad del cultivo.

Munévar, 2005

Bibliografía

Si usted desea complementar alguno de los temas presentados le sugerimos consultar:

Cortes, L.A. y Malagón, C.D. 1984. Los levantamientos agrológicos y sus aplicaciones múltiples. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá.

FAO. 1983. Directivas: Evaluación de tierras para la agricultura en Secano. Boletín de Suelos. No. 52. Roma : FAO, 237p.

IGAC, 1988, 2000. Guías para la elaboración de informes de suelos. Subdirección de Agrología.

Lal, R. 1994. Métodos y normas para evaluar el uso sostenible de los recursos suelo y agua en el trópico. Traducción CORPOICA Regional Seis, El Espinal. Tolima, Colombia.

Malagón C., D. 1999. El Recurso Suelo en Colombia -Inventario y Problemática- En: Revista de la Academia Colombia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Volumen XXII, No. 82. 13-52 p.

Malagón C., D. 2003. Ensayo sobre Topología de Suelos Colombianos - Énfasis en Génesis y Aspectos Ambientales - En: Revista de la Academia Colombia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Volumen XXVII, No. 104.319-341p.

Malagón, C.D.; Sánchez, J.A. y Jiménez, L. 1988. Nuevos aportes en el sistema de clasificación de suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Subdirección de Agrología. Bogotá.

Mosquera, L. 1985. Examen y descripción de los suelos en el campo. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Subdirección de Agrología. Bogotá.

Munévar M., F; Franco B., P. 2002. Guía general para el muestreo foliar y de suelos en cultivos de palma de aceite. Boletín técnico No. 12. 2ª edición. Bogotá.

Munévar M., F. 2004. Criterios agroecológicos útiles en la selección de tierras para nuevas siembras de palma de aceite en Colombia. Palmas (Colombia) 25 (No. Especial, Tomo II) 148-159.

Muñoz, O.; Beaulieu, N. y Jaramillo, J. 2000. Manual Usuario MapMaker Popular.

Romero, M. 1987. Criterios para la definición de familias taxonómicas. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Subdirección de Agrología. Bogotá.

Romero, M; Moreno, A y Munévar, F. 1999. Evaluación edafoclimática de las tierras del Trópico Bajo Colombiano para el cultivo de Palma de Aceite. Bogotá: Cenipalma, Corpoica, 30 p.

Rubiano, Y. 2005. Sistema Georreferenciado de Indicadores de Calidad del Suelo. Herramienta SIG para apoyo a la toma de decisiones en planificación uso y manejo del Suelo. Tesis para optar al Título de Doctor en Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Palmira.

Rubiano, Y. 2005. Manual del Usuario GEOSOIL, Edición especial con datos del Proyecto Caracterización de Suelos de la Zona Central Palmera de Colombia. Cenipalma, Sena, CIAT.

SOIL SURVEY STAFF. 1999. Soil Taxonomy : A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Handbook Number 436. 2 ed. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. Washington : USDA. 871 p.

SOIL SURVEY STAFF. 2003. Keys to Soil Taxonomy. 9 ed. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. Washington : USDA, 2003. 332 p.

Van Wambeke, A.; Forbes T.T. (Ed) 1986. Guidelines for using "Soil Taxonomy" in the names of Soil Map Units. SMSS. SCS. USDA. Cornell Univ. Dep.. Agronomy, SMSS. Technical Monograph No. 10. En español: Leighton, Walter. Criterios para el uso de la Taxonomía de Suelos en la denominación de Unidades Cartográficas. Versión en Español. Universidad de Chile.

Villota, H. 1997. Una Nueva Aproximación a la Clasificación Fisiográfica del Terreno. Revista CIAF (Colombia) 15: 64-83.



Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite

Calle 21 No. 42C - 47
Tel.: (91) 208 8660 Fax: (91) 368 1152.
bogota@cenipalma.org
Bogotá, D.C. Colombia