

DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS ANALÍTICOS EMPLEADOS EN
EL LABORATORIO DE FÍSICA DE SUELOS DEL CENTRO
INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL (CIAT)

EDWIN CUERO ARRECHEA

UNIVERSIDAD DEL PACIFICO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIAS
PROGRAMA DE AGRONOMIA
BUENAVENTURA VALLE
2010

DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS ANALÍTICOS EMPLEADOS EN
EL LABORATORIO DE FÍSICA DE SUELOS DEL CENTRO
INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL (CIAT)

EDWIN CUERO ARRECHEA

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título
de Agrónomo

Director
CARLOS JULIO MEDINA
Ing. Agrónomo

UNIVERSIDAD DEL PACIFICO
PROGRAMA DE AGRONOMIA
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIAS
BUENAVENTURA, VALLE
2010

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado, ante todo a Dios, quien me guía y me protege de todas las cosas perjudiciales, por darme salud, fortaleza y serenidad. A mis padres, Eduardo Cuero Montaña y Gladys Andrea Arrechea Saa, quienes me apoyaron siempre y no dejaron que desfalleciera, por ser unos padres ejemplares, por enseñarme que los retos difíciles son los que nos hace grande. Este logro es de ustedes, por todo el sacrificio hecho se merecen esto y mucho más, los quiero. A mis hermanos, Yamile Cuero Arrechea, Eblin Yesenia Cuero Arrechea, Yisela Cuero Arrechea y Leiner Andrés Cuero Arrechea, que fueron la razón de lucha. Y a mis familiares, que siempre me brindaron su respaldo, en especial a Tomasa Arrechea y María Arrechea que me acogieron en sus hogares como un hijo. Este logro es de todos ustedes.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la vida, la fuerza y llenarme de conocimiento para poder realizar este proyecto. Al Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), por darme la oportunidad de desarrollar este trabajo. A Jesús Hernando Galvis Ms en Suelos, es director del laboratorio de física de suelos de CIAT, por acogerme y darme todas las herramientas posibles para el buen desarrollo de este trabajo. A mi director académico el profesor Carlos Julio Medina, I.A. por su gran colaboración. A mis compañeros de clase Aura Dayana, Glosby, Sindi, Flavio Henrique y sobre todo a mi gran amiga María del Pilar Lerma. Por no dejar que decayera, por ser el apoyo que siempre necesite, ya que sin ti no sé cuando este culminaría, gracias amiga, gracias a todos los que me colaboraron.

CONTENIDO

	pág.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
CONTENIDO	v
LISTA DE TABLAS	vi
INTRODUCCIÓN	7
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
2. JUSTIFICACIÓN	9
3. OBJETIVO GENERAL	10
3.1 OBJETIVO ESPECIFICO	10
4. RESULTADOS	11
4.1 DESCRIPCION DE METODOS ANALITICOS DEL LABORATORIO DE FISICA DEL SUELO DEL CIAT	11
4.2 DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS DE RETENCIÓN DE HUMEDAD	12
4.2.1 Determinación de las curvas de retención de humedad entre 1 y 15 bares (ollas de presión)	14
4.2.2 Permeabilidad al aire	17
4.2.3 Densidad Aparente	19
4.2.4 Conductividad hidráulica saturada	19
4.2.5 Susceptibilidad a la compactación (proctor)	22
4.3 ANALISIS FISICO CON MUESTRAS ALTERADAS	24
4.31 Textura del suelo	24
4.3.2 Determinación granulométrica del suelo	29
4.3.3 Determinación de la densidad real	30
4.3.4 Distribución de agregados	31
4.3.5 Agregados estables al agua	34
4.3.6 Metodología para el fraccionamiento de materia orgánica en ludox	39
4.3.7 Determinación de carbono por el método de combustión	40
REVISIÓN DE BIBLIOGRAFIA	45

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Retención de humedad según textura	13
Tabla 2. Conductividad hidráulica saturada	17
Tabla 3. Corrección por temperatura	22
Tabla 4. Triangulo de textura	24
Tabla 5. Estabilidad de los agregados estables al agua	34

INTRODUCCIÓN

La física del suelo descrita por Montenegro (1990) como una parte del estudio de la ciencia del suelo que se encarga de evaluar sus propiedades físicas, así como de la descripción, medición, interpretación y control de los procesos físicos que ocurren; en dicho contexto la física de suelos estudia los estados y movimientos de la materia, así como los flujos y transformaciones de la energía del suelo.

Dicho lo anterior se puede entender por qué la productividad y sostenibilidad de los suelos depende de la obtención y/o conservación de un equilibrio dinámico adecuado entre las propiedades y procesos físicos, químicos y biológicos del suelo, las cuales determinan la disponibilidad de agua y nutrientes en el volumen de suelo explorado por raíces a través del ciclo vegetativo (Amezquita, 1996).

Es de gran interés tener en cuenta que las propiedades físicas de los suelos tropicales tienen una importancia primordial para la evaluación de su fertilidad y productividad (Guinard, 1965; Lawes, 1957; citado por Drosdoff, 1975).

Debido a que el conocimiento de las propiedades físicas de los suelos permite programar mejor las actividades agrícolas vitales como laboreo, fertilización, conservación de aguas y suelos y manejo de residuos (Grande, 1972; citado por Amezquita, 1974); es imprescindible desde cualquier nivel de la agricultura, el poseer herramientas de apoyo como lo son el análisis físico de suelo (textura, susceptibilidad a la compactación, conductividad hidráulica, retención de humedad entre otros) para poder así minimizar riesgos en la productividad de los cultivos. Este trabajo se presenta como una herramienta de apoyo para los estudios en la física de suelo y en especial en los métodos analíticos de laboratorio.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

No se encuentran en la región del Pacífico personas capacitadas para realizar análisis físico de suelo

2. JUSTIFICACIÓN

El suelo junto con el agua es uno de los recursos naturales que más ha influido y continua influyendo en el desarrollo de la humanidad (Urquiaga y otros, 2005), con el crecimiento de la población mundial se ha incrementado también las áreas con suelos cada vez más pobres, inclusive marginales aumentando la deforestación y degradación de tierras (Urquiaga y otros, 2005)

Amezquita (1998) afirma que las principales propiedades físicas de suelos que son afectadas por sistemas inadecuados de labranza (intervención humana) son aquellas que tienen que ver con el comportamiento volumétrico del suelo, tales como porosidad total y distribución de tamaños de poros.

Es común encontrar que un análisis químico revele la existencia de cantidades grandes de nutrientes de plantas y, sin embargo, el suelo sea, todavía poco productivo a causa de sus propiedades físicas (López, 1967).

Teniendo en cuenta que el suelo es un medio poroso que presenta una fase solida, liquida y gaseosa (Bear, 1972; citado por Dorner y Dorota, 2007), que la fragilidad de la estructura de los suelos tropicales y su susceptibilidad a sellamiento, compactación, adensamiento y erosión, cuando se someten a sistemas de labranza intensivas, los hace muy susceptibles a degradación con los consiguientes efectos negativos en la sostenibilidad agrícola y ganadera (Amezquita, 1998).

Es de gran importancia la realización de análisis físicos de suelo y aun más importante de dichos análisis sean lo más confiable posible.

3. OBJETIVO GENERAL

Capacitación en metodología de laboratorio de física de suelo del Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT

3.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ❖ Realizar en el laboratorio de física de suelo todos los procesos que se desarrollan para la obtención de información necesaria de los diferentes análisis.
- ❖ Facilitar una herramienta metodológica de análisis de física de suelo precisa y confiable en la obtención de este tipo de estudio.
- ❖ Describir los métodos analíticos empleados en el laboratorio de física de suelo del CIAT.

4. RESULTADOS

4.1 DESCRIPCION DE METODOS ANALITICOS DEL LABORATORIO DE FISICA DE SUELOS DE CIAT

Materiales

Espátula
Bandas de caucho
Malla velada
Cuchillo
Bandeja plástica
Cilindros (2,5cm o 5cm)

La preparación consiste en tomar la muestra no disturbada destaparla con la ayuda de una espátula, enrasarla a los bordes del cilindro teniendo sumo cuidado de no sellar los poros de la muestra, para lo cual es recomendable utilizar un cuchillo de hoja fina de forma perpendicular a los bordes del cilindro, si la muestra presenta indicios de sellamiento por causas antrópicas, con ayuda del cuchillo y muy sutilmente se hacen líneas a la muestra con el fin de abrir los poros. Una vez enrasada la muestra, acoplar al fondo del cilindro una tela velada y sujetar alrededor del cilindro con una bandita de caucho para posteriormente colocarla a saturar con agua. figura1

Figura 1. Muestra preparada



4.2 DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS DE RETENCIÓN DE HUMEDAD

La propiedad del suelo de retener agua es una característica importante, ya que indica la capacidad del mismo de proveer agua para el crecimiento de las plantas. Las curvas de retención de humedad permiten estimar la cantidad de agua que un suelo puede almacenar dentro de límites dados de succión, se consideran dos puntos importantes que son la denominada capacidad de campo o punto superior de contenido de humedad de suelo adecuado para la planta. Que corresponde al contenido de humedad con que queda un suelo saturado después de someterlo a una presión de 0.075 Bars para suelos del Valle del Cauca y los Llanos Orientales (0.3 Bars para otros suelos) y el punto de marchitez permanente el cual hace referencia al contenido de agua que retiene un suelo saturado después de someterlo a una presión de 15 Bars por 24 horas. El laboratorio de física de suelos del CIAT, utiliza mesa de tensión de humedad para el análisis de capacidad de campo y, ollas y platos de presión para el análisis de agua aprovechable y punto de marchitez permanente. Figura 2.

Figura 2. Derecha, mesa de tensión, platos y ollas de presión.



Saturación de la muestra. Luego de preparada la muestra, se coloca en una bandeja con agua de tal forma que el agua cubra 1/3 del cilindro (figura 3), la muestra debe ponerse de tal forma que la malla velada quede en la parte inferior de la bandeja. La muestra está saturada cuando la parte superior del cilindro este totalmente humedecido ya que todos los poros de la misma estarán ocupados por agua (figura 4).

Figura 3. Muestras en bandeja para saturar



Figura 4. Muestra saturada



Una vez saturadas las muestras y pesadas en balanza analítica de precisión, colocarlas en la mesa de tensión de humedad, haciendo un poco de presión entre la muestra y la base de la mesa, buscando un buen acoplamiento. Para lo cual la mesa debe estar humedecida y a una presión de 0 Bars, posteriormente esta se debe tapar y regular a la presión requerida 75cm, las muestras se dejan en la mesa de tensión por un tiempo estimado de 4 días para cilindros de 2.5cm de altura tiempo en el cual se retiran los cilindros para luego registrar el peso. Figura 5. (a y b)

Figura 5. (a) Muestras ordenadas en mesa de tensión

(b) Mesa de tensión



4.2.1 Determinación de las curvas de retención de humedad entre 1 y 15 bares (ollas de presión). Luego de pasar las muestras por la mesa de tensión de humedad y ya registrados los datos, se llevan las muestras a las ollas de presión de humedad, para lo cual se debe en primera instancia; saturar los platos cerámicos de 1 y 15 Bares de presión de entrada de aire. La saturación consiste en colocar los platos de cerámica en una bandeja con agua por un tiempo aproximado de 1 hora. Ya saturados los platos se instalan en las ollas de presión correspondientes, y se procede, a colocar los cilindros. Se culmina la operación sellando muy bien las ollas y aplicando la presión requerida, 1 y 15 bares de presión para el caso tratado, las muestras se dejan en las ollas por 4 días para cilindros de 2.5cm. Pasado este tiempo se retiran las muestras de las ollas de presión y se pesan.

Secado de las muestras a 105 °c. La curva de retención de humedad se completa cuando se tienen los datos del secado de las muestras. Razón por la cual se toman las muestras que han salido de 15 bares de presión y que, inicialmente han pasado por los diferentes puntos de presión, se organizan en una bandeja de aluminio y se llevan a la estufa a 105°C por 24 horas. Pasado este tiempo se retiran las muestras y se pesan en la balanza analítica cuando estén a temperatura ambiente, se desecha el suelo para pesar el cilindro con la malla y el caucho (accesorios) y se culmina midiendo altura y diámetro de cada cilindro. Con

las curvas de retención de humedad se pueden obtener datos adicionales tales como: densidad aparente, porosidad total, humedad de campo.

CÁLCULOS

Densidad Aparente = M/V

En donde

M= masa del suelo seco

V= volumen del suelo (cilindro)

% Porosidad Total = $(1-(Da/Dr))*100 = Pt$

En donde

Da = Densidad aparente

Dr = Densidad real

% Humedad = $((Ph- Ps)/Ps)*100$

En donde

Ph= Peso suelo húmedo (campo)

Ps = Peso suelo seco 105°C

% Humedad Gravimétrica = $((Ph - Ps)/Ps)*100 = HG$

En donde

Ph= Peso del suelo húmedo (saturado)

Ps= Peso del suelo seco a 105°C

HG= Humedad gravimétrica

Humedad Volumétrica = H.G X Da = Hv

En donde

H.G = Humedad Gravimétrica

Da = Densidad aparente

Agua útil = % de humedad a 0.075 Bar - % de humedad a 15 Bar

% Macroporos = Pt – Cc = Mc

En donde

Pt= Porosidad total

Cc= Capacidad de campo (Humedad volumétrica a 0.075 Bar)

% Mesoporos = Cc - PMP = Ms

En donde

Cc= Capacidad de campo (Humedad volumétrica a 0.075 Bar)

PMP = Punto de Marchitez Permanente (Humedad volumétrica a 15 Bar)

% Microporos = % Humedad volumétrica a 15 Bar

Tabla 1. Retención de humedad según textura

Retención de Humedad según Textura		
Clase textura	% Retención de humedad	
	A 0.3 Bars	A 15 Bars
Arenosa	5 – 15	2 – 10
Franco Arenosa	12 – 32	5 – 18
Franca	18 – 50	10 – 30
Franca Arcillosa	20 – 40	12 – 35
Arcillosa	25 – 75	15 – 45

4.2.2 Permeabilidad al aire. La permeabilidad del aire hace referencia a la facilidad con que éste pasa a través de los poros del suelo, teniendo en cuenta la resistencia que oponen los diferentes tamaños de agregados del suelo.

Para su análisis se deben tomar muestras en cilindros de volumen conocido el cual es conectado al permeámetro tipo Daiky por una manguera, el análisis consiste en medir el tiempo que gasta un litro de aire en pasar a través de la muestra. Normalmente este análisis se realiza paralelamente con la curva de retención de humedad, razón por la cual, se determina permeabilidad al aire a los 75cm de succión, 1bar y 15 bares de presión. Figura 6. (a y b)

Figura 6. (a) Permeámetro de Daiky



(b) Muestra lista para ser analizada



Muestra acoplada

Permeabilidad al aire

$$K = (Q \times n \times L) / ((P_2 - P_1) A \times t)$$

En donde

K= Coeficiente de paso de aire (cm/día)

Q= Cantidad de aire que pasa por la muestra (1000cm³)

n= Viscosidad del aire (1.84 x10⁻⁴)

L= Longitud del cilindro

t= Tiempo (segundos)

(P₂ - P₁)= Diferencia de presión (cm)

A= Área del cilindro

4.2.3 Densidad aparente. Es la relación de la masa de las partículas del suelo más los espacios de poros en una muestra (la masa se determina después de secado a peso constante a 105°C) y el volumen de la muestra tal como se toma en el campo. Varía según las condiciones estructurales del suelo. Normalmente se expresa en g/cm³. El método consiste esencialmente de secado y pesado de un volumen conocido de suelo (Ministerio de agricultura y ganadería, 1980).

Para evaluar la Densidad aparente se extrae una muestra de suelo en campo por medio de un cilindro de metal de volumen conocido se lleva al laboratorio de física de suelo, se seca a 105°C por 24 horas, posteriormente, se pesa y se remplazan los valores en la fórmula para hallar la densidad aparente. El mayor error puede presentarse en la toma de la muestra, por lo que es el paso que requiere mayor cuidado.

Cálculos

Densidad Aparente = m/V

En donde

m= masa del suelo seco

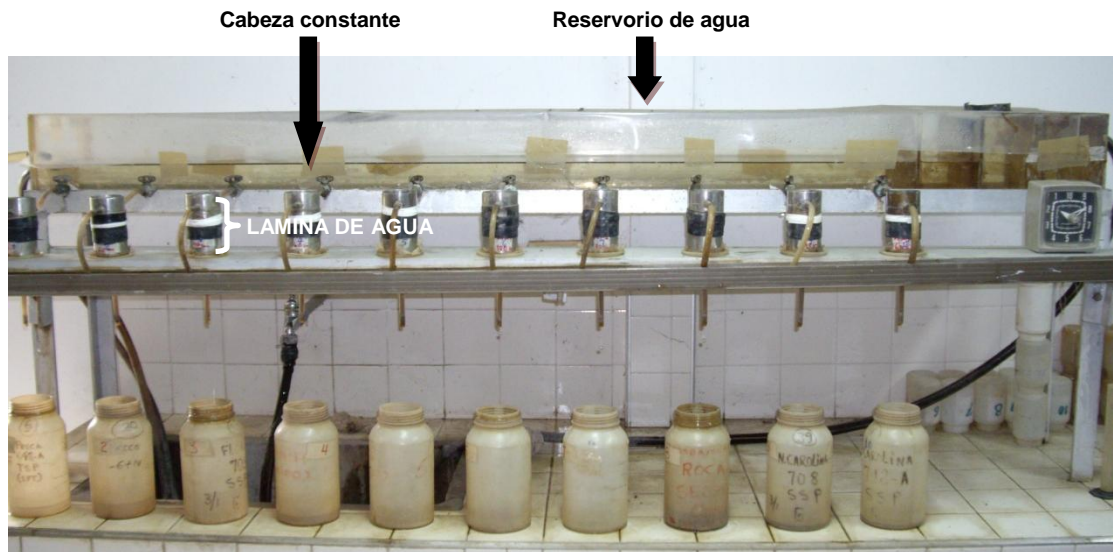
V= volumen del cilindro

4.2.4 Conductividad hidráulica saturada (Método permeámetro de cabeza constante). La conductividad hidráulica expresa la habilidad del suelo saturado de permitir el paso del agua en sentido vertical. Es importante el conocimiento de la conductividad hidráulica pues permite determinar la profundidad y espaciado apropiado de los drenes superficiales y subsuperficiales, los canales de riego y calcular y evaluar las pérdidas de agua por filtración. La conductividad hidráulica es el factor de proporcionalidad de la ley de Darcy, que trata del flujo viscoso de agua en el suelo; es decir, el flujo de agua por unidad del gradiente del potencial hidráulico, en el sistema de unidades de longitud, tiempo y masa (Lora, 1998; Forsythe; 1972).

Para el análisis de conductividad hidráulica es necesario en primera instancia que las muestras estén saturadas al momento de llevarlas al permeámetro de cabeza constante en el cual se debe seguir los siguientes pasos:

1. Acoplar muy bien la muestra (cilindro) a la cabeza constante (figura 7) y cerciorarse de que no quede filtrando agua por fuera del cilindro ya que esto representaría error en el análisis.
2. Luego de acoplado el cilindro a la cabeza constante se debe llenar el reservorio de agua del permeámetro hasta el nivel indicado, se abren las llaves para permitir que pase agua por las muestras durante 30 minutos hasta que se regule el paso de esta. Ver figura 7

Figura 7. Permeámetro de cabeza constante



3. Transcurrido este tiempo se empieza con la toma de los datos, lo cual consiste en coleccionar, medir y registrar el agua que pasa por cada muestra en intervalos de 10 minutos. El análisis por muestra termina cuando la diferencia entre dos medidas consecutivas no sea mayor al 5%.

Cálculos

$$K_s = (Q_{cm} \times h_{cm}) / (A_{cm^2} \times \Delta H_{cm} \times t)$$

En donde

K_s = conductividad hidráulica saturada

Q = volumen de agua en ml, que pasa a través de la muestra a los 10 minutos

h = largo en cm. De la columna de suelo luego de haber saturado

A = área en cm^2 del cilindro

t = tiempo en horas

ΔH = lamina de agua

Tabla 2. Conductividad hidráulica saturada

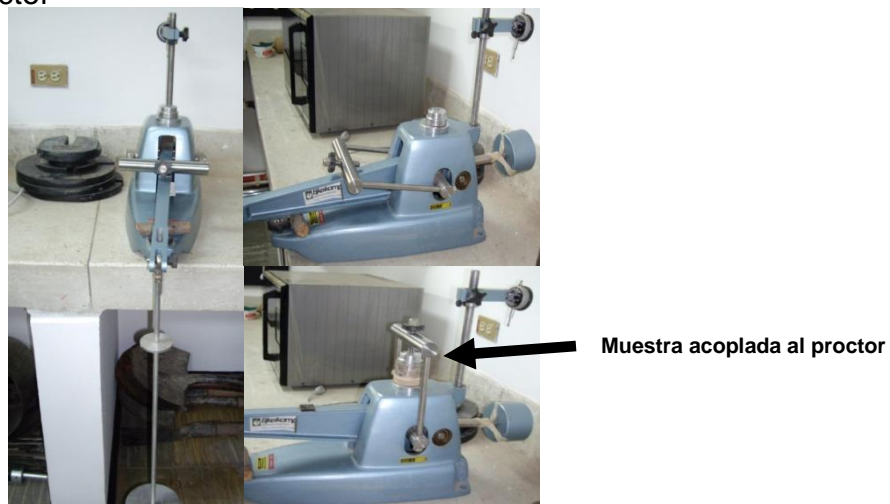
Conductividad hidráulica		Interpretación
Cm/hora	m/día	
< 0.1	< 0.03	Muy lenta
0.1 – 0.5	0.03 – 0.12	Lenta
0.5 – 1.6	0.12 – 0.38	Mod. Lenta
1.6 – 5.0	0.38 – 1.20	Moderada
5.0 – 12.0	1.20 – 2.90	Mod. Rápida
12.0 – 18.0	2.90 – 4.30	Rápida
> 18.0	> 4.30	Muy rápida

4.2.5 Susceptibilidad a la compactación (proctor). La compactación es una de las propiedades físicas de los suelos que más influye en la productividad de los cultivos. Este fenómeno que normalmente se presenta por el mal manejo agronómico del suelo, se encuentra estrechamente relacionada con la porosidad del suelo y por consiguiente con el transporte de agua y nutrientes del suelo a la planta.

El análisis de la compactación es sencillo de realizar pero se requiere de mucho cuidado. El análisis usualmente se realiza con muestras con un contenido de humedad igual o similar al de capacidad de campo del suelo, por lo tanto, la muestra utilizada para dicho análisis debe haber pasado por la mesa de tensión de humedad (capacidad de campo) y posteriormente se lleva al proctor (ver figura 8) en el cual se debe seguir las siguientes indicaciones:

La muestra se coloca en la base del proctor se acopla de tal forma que el soporte, quede bien centrado en el cilindro para que la carga (peso) se distribuya uniformemente. En el Laboratorio de física de suelos del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), el peso utilizado para muestras de 5cm es de 4kg, peso que debe soportar la muestra por tiempo de 1 minuto. Luego de esto, se retira la muestra de la maquina y con ayuda del pie de rey, se mide la distancia entre el borde del cilindro y el suelo en la muestra. Este dato es el que servirá para medir la susceptibilidad de dicho suelo a ser compactado.

Figura 8. Proctor



Cálculos

Densidad aparente Inicial

$$\mathbf{DaI = Ps / Vcl}$$

En donde

DaI = Densidad aparente Inicial

Ps= Peso del suelo seco

Vcl= Volumen del cilindro inicial. Antes de compactar la muestra

Densidad aparente Final

$$\mathbf{DaF = Ps / VcF}$$

En donde

LDaF = Densidad aparente Final

Ps= Peso del suelo seco

VcF= Volumen del cilindro Final. Luego de compactar la muestra

Porosidad Residual

$$\mathbf{P.R= (1-(DaI /DaF))*100}$$

En donde

P.R = Porosidad Residual

DaI= Densidad aparente Inicial

DaF = Densidad aparente Final

Susceptibilidad a Compactación

$$\% \text{ S.C} = (\text{DaI} / \text{DaF}) * 100$$

En donde

%S.C= Susceptibilidad a Compactación

DaI= Densidad aparente Inicial

DaF = Densidad aparente Final

4.3 ANALISIS FISICO CON MUESTRAS ALTERADAS

4.3.1 Textura del suelo. La textura del suelo es una propiedad física que se usa como criterio importante para evaluar otras propiedades, como la superficie específica, la permeabilidad, la capacidad de retención de agua, los índices de plasticidad, etc.; en Química de Suelos, para pronosticar la capacidad de intercambio de cationes; en Taxonomía como parámetro para clasificar los suelos, y en conservación de suelos para evaluar la cantidad de suelos perdido por erosión (IGAC, 1990).

Determinación de la textura método de Bouyoucos. Este método consiste en determinar la cantidad de sólidos en suspensión por medio del hidrómetro. La profundidad del centro de flotación del hidrómetro varía con la densidad de la suspensión y también con la textura (IGAC, 1990).

Materiales y equipos. Hidrómetro de Bouyoucos, probeta de 1000ml, agitador (Multimixer), agitador manual, cronometro, balanza analítica, termómetro, frasco lavador, vasos plásticos, vasos de aluminio, cajas de aluminio, formato de registro. Agente dispersante: hexametáfosfato de sodio (NaPO_3)₆ y carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 5%.

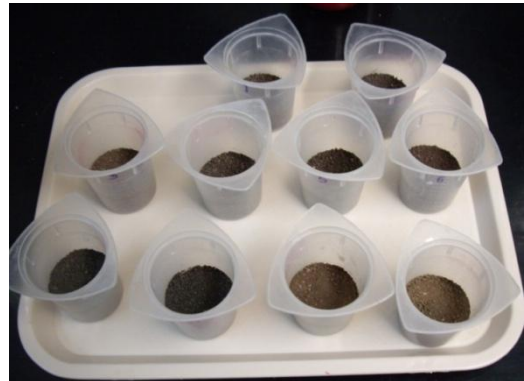
Para determinar la textura por este método se toma suelo seco a temperatura ambiente, luego se pasa por un tamiz de malla de 2mm como se muestra en la figura 9. Posteriormente, se pesan 40g de suelo en el vaso plástico (figura 10) y 5

gramos de suelo en una caja de aluminio, los 5 gramos se llevan al horno a 105°C por 24 horas para realizar corrección de humedad.

Figura 9. Muestras pasadas por malla de 2mm.



Figura 10. 40 gramos de suelo



A los 40g de suelo contenido en el vaso plástico se le aplican 50ml de hexametáfosfato de sodio y carbonato de sodio, dejando en reposo por 10 minutos. Después de esto, se vierte toda la suspensión de suelo contenida en el vaso plástico al vaso de aluminio con ayuda del frasco lavador, posteriormente se lleva al Multimixer para agitar por 10 minutos (figuras 11 y 12).

Figura 11. Materiales para el análisis



Figura 12. Multimixer



Consecutivamente, se vacía la suspensión con ayuda del frasco lavador a la probeta y se enraza a 1000ml (ver figura 13. a y b), se deja en reposo y se toma la temperatura con el termómetro para obtener el factor de corrección.

Figuras 13. (a) Probetas con suspensión (b) Probetas enraizadas a 1000 ml



Luego se agite vigorosamente la suspensión con el agitador manual por espacio de 20 segundos. Al terminar la agitación se anota el tiempo y se sumerge el hidrómetro suavemente en la suspensión para tomar la lectura a los 40 segundos de haber dejado de agitar leyendo en el menisco superior del hidrómetro. Las muestras se dejan en reposo por 2 horas. Al cabo de este tiempo se toma la temperatura (corrección de la lectura) luego se introduce el hidrómetro suavemente sin perturbar la muestra, leyendo como se hizo anteriormente. Tabla 3.

Tabla 3. Corrección por temperatura

TEMPERATURA.°C	CORRECCIÓN
15.0	- 1.62
15.5	- 1.44
16.0	- 1.26
16.5	- 1.08
17.0	- 0.90
17.5	- 0.72
18.0	- 0.54

18.5	- 0.36
19.0	- 0.18
19.5	0
20.0	+ 0.18
20.5	+ 0.36
21.0	+ 0.54
21.5	+ 0.72
22.0	+ 0.90
22.5	+ 1.08
23.0	+ 1.26
23.5	+ 1.44
24.0	+ 1.62
24.5	+ 1.80
25.0	+ 1.98
25.5	+ 2.15
26.0	+ 2. 34
26.5	+ 2.52
27.0	+ 2.70
27.5	+ 2.88
28.0	+ 3.06
28.5	+ 3.24

Cálculos

$$\% \text{ arenas} = 100 - (Lc \times 100)/Ps$$

En donde

Lc = Lectura a 40 seg.

Ps = Peso de la muestra a 105°C.

$$\% \text{ Arcilla} = (Ld \times 100)/ Ps$$

En donde

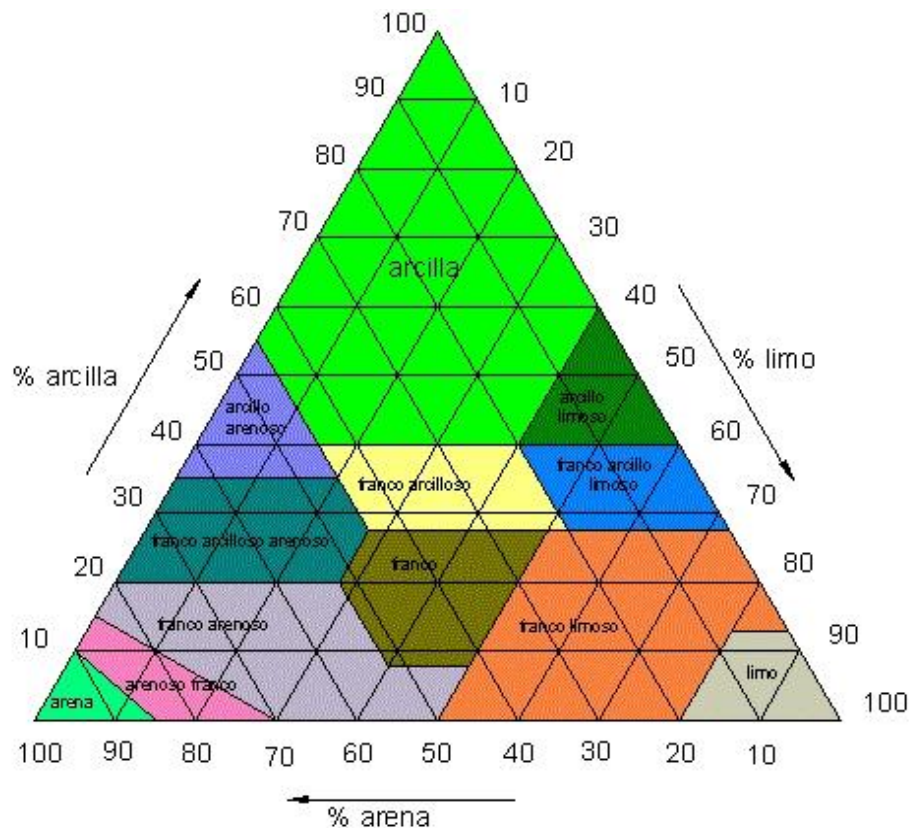
Ld = Lectura a las 2 horas

Ps: Peso del suelo seco a 105°C

% Limo = Se saca por diferencia entre el total (100 %) y la suma de los anteriores.

La clase textural se determina según el triángulo de textura. Tabla 4.

Tabla 4. Triángulo de textura



Determinación de la textura método de la pipeta. El método se basa en que por sedimentación se elimina, de una zona de profundidad S en un tiempo t , todas las partículas cuyas velocidades de sedimentación sean mayores a S/t , mientras que las partículas con velocidades de sedimentación inferior a la citada permanecen en su concentración original en dicha zona. (Amezquita y Navas, 1989).

Materiales y equipos. Probeta de 1000ml, agitador (Multimixer), agitador manual, cronometro, balanza analítica, termómetro, frasco lavador, vasos plásticos, vasos de aluminio, cajas de aluminio, cajas petry, inyectores con embolo, juego tamices,

estufa, formato de registro. Agente dispersante: hexametáfosfato de sodio (NaPO_3)₆ y carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 5%.

Para determinar la textura por el método de la pipeta, primero se pesan las caja petry y se marcan (3 por muestra), luego se realiza todo el procedimiento similarmente como se hizo para determinar la textura por Bouyoucos hasta tener la probeta con la suspensión enraizada.

En ese momento se toma la temperatura con la cual se sabrá los intervalos de tiempos para tomar las alícuotas. La profundidad a la que se toman las alícuotas puede ser de 10 o 20cm de profundidad, midiendo a partir del borde de la suspensión.

Agite vigorosamente con ayuda del agitador por 30 segundos para mezclar bien. Y comience a tomar las alícuotas (10ml) con ayuda de los inyectores y anotando el tiempo, cada alícuota se vacía a una caja petry. Son tres alícuotas por muestra.

Las cajas petry son llevadas al horno para ser secadas a una temperatura de 105°C por 24 horas, luego se pesan y se pasan por tamiz de 0.25mm y 0.053mm, se pesa y registra el contenido de cada tamiz.

4.3.2 Determinación granulométrica del suelo. Este procedimiento consiste en tomar toda la suspensión obtenida en la probeta y pasarlas por un juego de tamices de 0.25mm y 0.053mm. Lavar con abundante agua hasta que solo queden las arenas, paso seguido se recoge todo el material de los dos tamices en una caja petry y se lleva al horno por 24horas a 105°C. Pasado este tiempo, las arenas se pasan por un juego de tamices de 1, 0.5, 0.25, 0.125 y 0.053mm. Se pesa y registra el contenido de cada tamiz, estos datos servirán para establecer la granulometría del suelo.

4.3.3 Determinación de la densidad real. El contenido de las partículas del suelo o densidad real junto con la densidad aparente es importante ya que permite calcular la porosidad total del suelo; también permite evaluar la concentración de los sólidos en suspensión, y determinar la velocidad de sedimentación de las partículas de líquidos y gases; en la predicción de pérdida de suelo, en análisis mecánicos, en erosión y conservación de suelos, igualmente tiene aplicación la densidad real (IGAC, 1990).

Esta propiedad depende de la mineralogía, constitución química y del grado de hidratación de las partículas. Se define como la relación entre la masa de los sólidos y el volumen total de las partículas solidas del suelo, sin incluir el espacio poroso. La unidad de expresión es gramo por centímetro cubico (g/cm^3) (Lora, 1998)

Materiales y equipos

Vaso precipitado de 50ml
Frasco lavador
Estufa eléctrica pequeña
Horno
Tamiz de 2mm
Picnómetro de 100ml
Embudo pequeño
Formato de registro
Agua deionizada

Para determinar la Densidad real (D_r) se muele y se pasa la muestra (50g de suelo) por un tamiz de 2 mm, se toma la muestra en un vaso precipitado de 50ml y se lleva al horno 24 horas a 105°C , paralelamente se pesa el picnómetro vacío y luego con agua deionizada hasta el enrase. Posteriormente y con ayuda de un embudo pequeño se vacía la muestra al picnómetro vacío, el picnómetro con el suelo se pesa y se registra, se adiciona agua deionizada hasta cubrir el suelo. Seguidamente se pone el picnómetro en la estufa hasta que haya hervido, este paso es importante ya que, de esta forma se retira todo el oxígeno del suelo. Se deja enfriar la muestra, se enrasa y pesa. Con los pesos obtenidos (picnómetro

vacio, con agua, suelo, agua más suelo) podemos obtener la densidad real del suelo.

Cálculos

$$D_r = M/V$$

M= masa (g)

V= Volumen (cm³)

En donde

M = Pps – Ppv (peso de suelo seco a 105°C)

Pps = Peso de picnómetro con suelo

Ppv = Peso de picnómetro vacío

V = Ps – (Ppsa – Ppa)

Ps = Peso de suelo seco

Ppsa = Peso de picnómetro con agua y suelo

Ppa = Peso de picnómetro con agua

4.3.4 Distribución de agregados. La fase sólida del suelo está formada por componentes orgánicos e inorgánicos asociados íntimamente. Si el suelo se dispersa completamente se obtienen partículas individuales, conocidas también como los separados texturales o mecánicos. Los agregados están formados por agrupamientos de partículas individuales que conforman las unidades estructurales del suelo (Montenegro, 1990).

La distribución de partículas por tamaño constituye, una de las características más importantes por cuanto afecta innumerables propiedades de los suelos, entre ellas: la superficie específica, consistencia y temperatura, en asociación con la estructura, la porosidad, velocidad de infiltración, conductividad hidráulica, etc. (Montenegro, 1990).

Materiales y equipos

Platos plásticos
Juego de tamices
Balanza analítica
Shaker
Formato de registro

Para determinar el análisis de distribución de agregados se deben tomar 100 gramos de suelo aproximadamente secados al aire, los cuales se deben colocar en el tamiz de mayor diámetro del juego de tamices ubicados en el Shaker (figura 14 a y b). Normalmente para este análisis se utilizan dos juegos de tamices los cuales dependen del tipo de textura que presenta el suelo, para suelos con altos contenidos de arenas se utiliza juego de tamices de diámetros pequeños (2, 1, 0.5, 0.25, 0.125, 0.053 y menores de 0.053mm) y para suelos de textura arcillosa se utilizan tamices de mayor tamaño (6, 4, 2, 1, 0.5, 0.25, 0.125, y menor de 0.125 mm).

Figura 14. (a) Shaker

(b) Juego de tamices con suelo



Se enciende el Shaker y se programa por 5 minutos a 3000 revoluciones por minuto, cumplido este tiempo, se retiran los tamices y se colecta el suelo de cada tamiz en un plato plástico y se pesa (figura 15).

Figura 15. Distribución de los agregados



Los datos obtenidos servirán para realizar los cálculos de distribución de agregados, este dato es indispensable para la realización del análisis de estabilidad de agregados.

Cálculos. El cálculo de distribución de agregados se realiza por tamaño de tamiz ejemplo;

$$\% \text{ Ag} = (\text{PsT}_1 / \text{Psl}) / 100$$

% Ag= % agregado

Pst= Peso de suelo del tamiz

Psl= Peso de suelo inicial

$$\text{DMP} = (\text{PsT}_1 \times \text{DMA}) + (\text{PsT}_2 \times \text{DMA}) + (\text{PsT}_3 \times \text{DMA}) + (\text{PsT}_4 \times \text{DMA}) / \text{PSI}$$

En donde

DMP= Diámetro medio ponderado

Pst = Peso de suelo del tamiz

DMA = Diámetro medio de los agregados de suelo del tamiz

Comentario: el diámetro medio ponderado se debe realizar teniendo en cuenta cada uno de los tamices sin importar el número de estos

4.3.5 Agregados estables al agua. La agregación de las partículas del suelo, mediante la acción cementante de diferentes agentes presentes en los suelos directamente relacionados con la evolución específica de estos, define dos de las propiedades más importantes de los suelos del país: su porosidad, asociada con el intercambio gaseoso y el desarrollo radicular, y la retención y dinámica del agua, tanto en superficie (infiltración) como en la totalidad del perfil, conductividad hidráulica (Montenegro, 1990).

La estabilidad de los agregados depende de la clase de arcilla, la naturaleza de los productos de descomposición de la materia orgánica, la naturaleza de la flora microbiana y los elementos químicos asociados a las arcillas. Si existe elevada pérdida en la estabilidad puede producirse mala germinación, o disminuir la aireación y la reserva de agua, de tal modo, que limite el rendimiento de los cultivos. Por ello la importancia de esta medida (López, 1967)

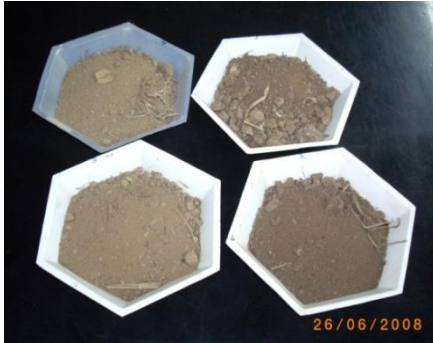
Materiales y equipos

Cajas petry
Balanza analítica
Juego de tamices
Platos plásticos
Frasco lavador
Marcador
Brocha
Hexametáfosfato de sodio al 5%
Horno
Yoder
Espátula

Para el análisis de agregados estables al agua tome la muestra húmeda y déjela secar al aire, posteriormente ordene el juego de tamices, 6.3, 4.0, 2.0, 1.0,

0.25mm. Para suelos arcillosos o que presenten terrones de suelos grandes y 2.0, 1.0, 0.5, 0.25, 0.125mm. Para suelos con altos contenidos de arenas. Los tamices deben quedar ordenados de tal forma que el de mayor diámetro quede arriba dentro del soporte, para luego introducirlos en un recipiente con agua. Ver figura 16. (a y b)

Figuras 16. (a) Muestra de suelo (b) Yoder



Introduzca los tamices en forma inclinada para evitar que llegue a quedar aire dentro de los mismos, ajuste el mecanismo de tal forma que la malla del tamiz superior quede a ras con el agua, cuando oscile el aparato y su eje quede en la parte superior de su movimiento. Tener cuidado que cuando el brazo se encuentre en la parte inferior, el agua no reboce el borde superior del tamiz. Distribuya la muestra de suelo (100g) en forma homogénea en el tamiz superior, y déjela por 20 minutos para que por capilaridad la muestra se sature. Ponga a funcionar el aparato por 20 minutos. Figura 17.

Figura 17. Muestras en reposo en el yoder



Saque los tamices del agua y déjelos drenar por 1 minuto aproximadamente, con la ayuda de la espátula y el frasco lavador pase todo el material del tamiz a una caja petry antes ya marcada, así sucesivamente con todos los tamices. Figura 18.

Figura 18. Cajas petry con material colectado



Obtenido el material en las cajas petry se lleva al horno a una temperatura de 105° por 24 horas. Luego halle la masa de cada material. Figura 19.

Figura 19. Muestras secadas al horno a 105 °c



Corrección de las arenas. Al material obtenido en las cajas petri se le adiciona 10 ml de solución dispersante (Hexametáfosfato de sodio al 5%) y, se deja en reposo por 10 minutos. Figura 20.

Figura 20. (a). Muestra con hexametáfosfato de sodio



Luego se pasa el material al tamiz correspondiente, se lava con abundante agua y haciendo presión con las manos; si queda retenida muestra en el tamiz, pásela nuevamente a la caja petri y llévela al horno a 105° por 24 horas. Pese el material, el cual corresponde al porcentaje de arenas. Figura 21. A y b.

Figura 21. (a). lavado de arenas

(b) Recolección de arenas en caja petry



Cálculos

$$\% \text{ AEA} = (\text{PSsT}_1 / \text{Psl}) / 100$$

AEA = Agregados Estables al Agua

PSsT= Peso de suelo seco (105°C), del tamiz

Psl= Peso de suelo inicial

Comentario: al PSsT se le debe restar el peso seco de las arenas correspondiente.

$$\text{DMP} = (\text{PSsT}_1 \times \text{DMA}) + (\text{PSsT}_2 \times \text{DMA}) + (\text{PSsT}_3 \times \text{DMA}) + (\text{PSsT}_4 \times \text{DMA}) / \text{Psl}$$

En donde

DMP= Diámetro medio ponderado

PSsT = Peso de suelo seco (105°C), del tamiz

DMA = Diámetro medio de los agregados de suelo del tamiz

Tabla 5. Estabilidad de los agregados al agua

% Agregados > 0.5 mm	Interpretación
< 25	Muy baja
25 – 35	Bajo
35 – 80	Medio
80 – 90	Alto
> 90	Muy alto

4.3.6 Metodología para el fraccionamiento de materia orgánica en ludox

Fase I

Lavado del suelo y obtención de materia orgánica. Tome de 250gr a 1000gr Según la cantidad de material orgánico que presente la muestra de suelo seco y pasado por tamiz de 2mm., agregue agua (preferiblemente deionizada) para suavizar (ablandar) déjelo por 30 minutos máximo, para realizar el Fraccionamiento de materia orgánica.

En una canastilla se recoge toda la materia orgánica flotante, vacié la solución lentamente dejando pasar por las mallas, hasta que únicamente quede materia orgánica en la decantación y no arenas, arcillas y/o limos.

Agite con la mano y vierta cuidadosamente la mezcla de este recipiente en un tamiz de 150 μm , haciendo que únicamente la materia orgánica quede atrapada en la decantación y no arcillas y limos caigan en el tamiz < 150 μm , realizar esta operación hasta que únicamente queden en el recipiente arenas limos y arcillas.

Al igual que en paso anterior proceda a lavar el material recibido en el tamiz de 150 μm , separando por decantación el suelo de la materia orgánica. Unir el material obtenido (materia orgánica) en este tamiz con la materia orgánica obtenida en el tamiz de 250 μm ya perfectamente lavada.

FASE 2:

Fraccionamiento en ludox. Coloque en las canastas la totalidad de la materia orgánica obtenida de la muestra de suelo que debe quedar muy limpia de limos, arcillas y arenas.

Sumergir por 6 minutos en solución Ludox con 1.13 de Densidad, la materia orgánica que flota al final de los 6 minutos corresponde a la fracción liviana, la cual se retira lentamente con una rejilla bien tupida y se deposita en una canasta mas pequeña. Lavar perfectamente la fracción y lo que queda de materia orgánica en la canasta retirada de la solución.

Todas las fracciones que se van obteniendo se depositan en recipientes aptos para someter a secado por 48 horas a 40°C al cabo de los cuales se procede con el separado de cada una.

4.3.7 Determinación de carbono por el método de combustión

Reactivos

1. Ácido sulfúrico. Grado analítico 96% (H_2SO_4). Se necesitan 20 ml de ácido por muestra y estándar.
2. Dicromato de potasio 0.17M ($K_2Cr_2O_7$). Pesar 50g y disolver en agua y llevar a volumen 1:1. Se necesitan 10ml de esta solución por muestra y estándar.
3. Solución patrón

Sacarosa ($C_{12}H_{22}O_{11}$).

Secar la Sacarosa en el horno a una temperatura de 105°C por 2 horas y dejar enfriar. Pesar. 26.69g de Sacarosa, disolver en agua y llevar a 250 ml. Esta solución contiene 50mg de Carbono por ml. Guardar esta solución patrón en la nevera.

4. Soluciones patrones de trabajo

Tomar de la solución patrón, alícuotas de 2, 5, 10, 15, 20, 25 ml y llevar con agua a volúmenes en balones de 100ml, las soluciones contienen 1, 2.5, 5, 7.5, 10, y 12.5 mg de Carbono por ml respectivamente, colocar 2ml de cada una de las soluciones preparadas en un elermeyer de 250ml. Secar completamente en el horno a una temperatura de 105°C y dejar enfriar, de esta manera cada uno contiene 2, 5, 10, 15, 20, 25 mg de carbono.

El procedimiento para la determinación de carbono por método de combustión, se realizan los siguientes pasos:

1. Pesarse en un elermeyer de 250ml, 0.5g de suelo seco, si el suelo contiene raíces y tiene color oscuro pesar de 0.25g a 0.125g.
2. Con una repipeta agregar 10ml de Dicromato de potasio 0.17M a las muestras de suelos y a los estándares y agitar bien. Ver figura 22.

Figura 22. Elermeyer con Dicromato de potasio



3. Con una repipeta agregar 20ml de ácido sulfúrico H_2SO_4 a las muestras y a los patrones de trabajo, agitar por espacio de 1minuto, dejar en reposo por media hora para enfriar. Figura 23 (a y b).

Figura 23. (a) Adición de ácido sulfúrico (b) Muestras con ácido sulfúrico



4. Agregar con una repipeta, 100ml de agua, agitar bien las muestras y los patrones, dejar en reposo durante la noche para asentar (precipitar). Figura 24.

Figura 24. Adición de 100ml de



1. Transvasar la solución sobrenadante a tubos de ensayos teniendo mucho cuidado de no mezclar. Figura 25.

Figura 25. Paso del sobrenadante a tubos de ensayo



6. Usando los patrones calibrar el espectrofotómetro a una longitud de onda de 620nm en concentración o absorbancia.

7. Leer las muestras y calcular la concentración de carbono oxidable (CO) en mg.
Figura 26. (A y b)

Figura 26. (a). Muestras para analizar (b). Lectura con espectrofotómetro



Cálculos

El contenido de carbono orgánico oxidable en la muestra se registra en %, de la siguiente manera.

$$\% \text{ CO} = \text{mg C/g muestra} \times 1/10$$

%CO: Porcentaje de carbono orgánico

Mg C: Miligramos de carbono (lectura)

G muestra: 0.5, 0,25 o 0.125g de acuerdo al suelo

1. Multiplicar por el factor de 1.32 para obtener el % de CO total
2. Para convertir a % de materia orgánica, multiplicar por 1.32 y luego por 1.72.

REVISIÓN DE BIBLIOGRAFIA

AMEZQUITA, E. 1998. Propiedades físicas de los suelos de los llanos orientales y sus requerimientos de labranza. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. Encuentro Nacional de Labranza. Villavicencio, Colombia.

AMEZQUITA, E. 1996. Características estructurales de los suelos de los llanos orientales de Colombia sometidos a varios sistemas de manejo. VII congreso Colombiano de la ciencia del suelo. Santa Marta, Colombia.

AMEZQUITA, E. 1974. Estudios hidrológicos y edafológicos para conservación de aguas y suelos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Turrialba, Costa Rica. pp. 6 – 7.

AMEZQUITA, E.; NAVAS, J. 1989. Métodos para la determinación de algunas propiedades físicas de los suelos. Instituto Colombiano Agropecuario. Bogotá, Colombia. pp. 124 – 174.

DROSDOFF, M. 1975. Suelos de las regiones tropicales húmedas. Ediciones. Marymar. National Academy of Sciences. Washington, D.C. pp 69 – 70.

FORSYTHE, W. 1972. Manual de laboratorio de física de suelos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Turrialba, Costa Rica. pp. 30 – 215.

INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI. 1973. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Ministerio de hacienda y crédito público. Tercera edición corregida y aumentada. Bogotá, Colombia. 238p.

INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI. 1990. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Ministerio de hacienda y crédito público. Quinta edición. Bogotá, Colombia. pp. 146 – 254.

LORA, S. R. 1998. Propiedades físicas y químicas del suelo. Encuentro nacional de labranza de conservación, Memorias. Villavicencio, Meta, Colombia. 1998. pp. 15- 23.

LÓPEZ, R. J. 1967. El diagnostico de los suelos y plantas (Métodos de campo y laboratorio). Ediciones. Mundi – prensa. Madrid, España. 266p.

MONTENEGRO, G., HUGO. 1990. Interpretación de las Propiedades Físicas del suelo (textura, estructura, aireación, etc.). En: Silva F. (ed.) Fundamentos para la Interpretación de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas para riego. 3ª edición. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Memorias. Bogotá. pp. 99 – 127.

MONTENEGRO, H.; MALAGÓN, D. 1990. Propiedades físicas de los suelos. IGAC. Bogotá. 813 p.

SCHWEIZER, S.; Coward, H.; Vasquez, A. 1980. Metodología para análisis de suelos plantas y aguas. Ministerio de agricultura y ganadería. Primera edición. San José, Costa Rica. pp. 1- 12.

DOCUMENTOS ELECTRONICOS

DORNER, J.; DOROTA, D. 2007. La Permeabilidad del aire Conductividad hidráulica saturada como herramienta para la caracterización funcional de los poros del suelo [on line]. Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal. 13p. [Citado 1 de mayo 2008]. Disponible en:

http://www.scielo.cl/cgi_bin/wxis.exe/iah

URQUIAGA, S.; JANTALIA, C.; LUZIO, W.; ALVES, B. 2005. El horizonte del suelo. [On line]. Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal. 15p. [Citado 1 de mayo 2008]. Disponible en:

www.mingaonline.uach.cl/pdf/rcsoleno/v5n2/art07.pdf

