

METODOS PARA LA DETERMINACION DE ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS DE LOS SUELOS

Por: Edgar Amézquita Collazos*
Jaime Navas Alvarado

13.1. Introducción

La distribución de tamaño y ordenación de las partículas del suelo determinan sus relaciones con el aire y el agua. Del igual modo afectan las propiedades químicas, físicas y microbiológicas del suelo. Así por ejemplo, cuanto mas elevado es el contenido de coloides, el movimiento de agua y aire es menor aumentándose por otro lado la capacidad de retención de los nutrimentos. Muchas veces el análisis químico puede revelar la existencia de cantidades altas de de nutrimentos y sin embargo el suelo sea improductivo a causa de sus propiedades físicas. Algunas de ellas solo pueden medirse en el campo, ya que después de tomar la muestra algunas de sus propiedades químicas sufren ligeros cambios, la mayoría de sus propiedades físicas y biológicas se alteran en mayor grado.

13.2. Determinación de la Textura por el Método de Bouyoucos

Los resultados que da este método son aproximados pero suficientes para los análisis de rutina con fines de fertilidad de suelos y de recomendaciones para los productores. Su uso se ha generalizado debido a su simplicidad y sencillez lo cual permite conocer los resultados en un poco mas de dos horas.

* Ing. Agr. Ph.D. Programa Suelos e Ing. Agr. Ph.D. División Disciplinas Agrícolas, respectivamente. Instituto Colombiano Agropecuario. Apartado Aereo 151123. Bogotá. 1989.

13.2.1. Equipo

- Hidrómetro estándar (ASTM- 152-H).
- Cilindros de sedimentación con marcas para 50 y 100 g de suelo.
- Dispersora mecánica con copa para suelos.
- Cronómetro
- Termómetro
- Agitador manual con émbolo

13.2.1. Reactivos

- Agentes dispersantes.

Primera opción: solución de hexametáfosfato y carbonato de sodio ($(\text{NaPO}_3)_6$ y Na_2CO_3): disolver en agua 37.5 g de $(\text{NaPO}_3)_6$ y 7.94 g de Na_2CO_3 , agitar y llevar a volumen de un litro. Esta mezcla se conoce comercialmente como calgón.

Segunda opción: Preparar una solución que contenga 40 g/L de NaOH y otra de oxalato de sodio saturado. Usar 5 mL de cada una por muestra.

13.2.2. Procedimiento

Secar la muestra al aire y pesar la por un tamiz de 2 mm. Si hay gravas determinar su porcentaje sobre peso total. Tomar una muestra y determinar el porcentaje de humedad. Sobre la base de suelos seco, pesar 50 g si el suelo al tacto es de textura fina o 100 g si es de textura gruesa. Pasar el suelo pesado a la copa de dispersión y agregar 5 mL de la solución dispersante (primera Opción). Dejar en reposo por unos minutos o mejor durante la noche. Agregar agua hasta un poco por encima de la mitad de la copa y someter la muestra a dispersión durante 6 minutos si el suelo es de textura gruesa, 10 minutos si es de textura media y 15 minutos si es de textura fina. Con algunos suelos difíciles de dispersar es necesario aumentar el tiempo dispersión. Vertir el contenido de la copa al cilindro de sedimentación con ayuda de agua a baja presión y llevar el volumen a la marca inferior, teniendo el hidrómetro adentro, si se utilizaron 50 g de muestra o a la marca superior si se utilizaron 100 g sacando el hidrómetro. Agitar la suspensión 10 veces

verticalmente, utilizando el agitador manual con el émbolo. Tan pronto como se termine la agitación, poner en marcha el cronómetro y sumergir cuidadosamente el hidrómetro en la suspensión. Anotar la lectura (menisco superior) del hidrómetro a los 40 segundos de haber cesado la agitación. Sacar el hidrómetro cuidadosamente y tomar la temperatura. Dejar la suspensión en reposo. Si la producción de espuma no permite una buena lectura, añadir 1 o 2 gotas de alcohol amílico. Poco antes de que hayan transcurrido 2 horas de reposo sumergir nuevamente el hidrómetro, anotar su lectura a las dos horas y tomar la temperatura de la suspensión.

Cálculos

Las lecturas del hidrómetro deben ser corregidas en base en la temperatura que se toma en cada lectura. Si la temperatura es superior a 67°F (19.44° C) los grados que excedan a este valor semultiplican por 0.2 y se agregan a la lectura inicial. Si la temperatura es inferior a 67°F, se multiplican los grados que faltan por 0.2 y se restan de la lectura inicial o final del hidrómetro. De esta forma se obtendrán las lecturas corregidas.

Para hacer las correcciones de lectura del hidrómetro, puede también usarse la siguiente tabla que brinda mas precisión y que es deducida de la ecuación de sedimentación de Fisher-Oden.

<u>Temperatura (°C)</u>	<u>Factor de corrección</u>
14	-1.46
16	-0.98
18	-0.44
19.44 (67°F)	0.00
20	+0.18
22	+0.86
24	+1.61
26	+2.41
28	+3.28
30	+4.20

$$\% \text{ Arena (2 a 0.05 mm)} = \frac{\text{Lectura corregida a 40 min} \times 100}{\text{Peso de la muestra (g) a } 105^{\circ}\text{C}}$$

$$\% \text{ Arcilla (<0.002 mm)} = \frac{\text{Lectura corregida a las 2 h} \times 100}{\text{Peso de la muestra (g) a } 105^{\circ}\text{C}}$$

$$\% \text{ Limo (0.05 a 0.002 mm)} = 100 - (\% \text{ Arena} - \% \text{ Limo})$$

Una vez obtenidos los porcentajes de cada fracción, determinar la clase textural del suelo problema, con la ayuda del triángulo textural del USDA.

13.3. Distribución del Tamaño de las Partículas

13.3.1. Método del Hidrómetro

El término distribución del tamaño de partícula, se refiere a las proporciones porcentuales en peso seco de los diferentes tamaños de partícula que contiene un suelo dado. La mayoría de los métodos utilizados para hacer esta determinación se basan en cernido o tamizado para separar las fracciones gruesas y en sedimentación para separar las fracciones finas. Para la separación, es preciso que las partículas estén dispersas en medio acuoso, para ello se usa dispersión química y física.

La sedimentación de las partículas finas se rigen por la Ley de Stokes que relaciona la velocidad de sedimentación con el diámetro de partículas esféricas. La determinación de la concentración de sólidos en suspensión a una profundidad y tiempo dados se hace por el método del hidrómetro o de la pipeta. La determinación con el hidrómetro es algo menos preciso pero suficiente para la mayoría de los propósitos.

La ecuación de Stokes puede expresarse de la siguiente forma:

$$d = \frac{\theta}{\sqrt{t}}$$

en donde :

d = Diámetro en micras

$$\theta = 1000 \sqrt{30} \eta (\rho_s - \rho_L)$$

s = Distancia vertical en cm recorrida por una partícula esférica de diámetro d en micras y un tiempo t en minutos. Equivale a la profundidad efectiva del hidrómetro, la cual es función de la profundidad de inmersión.

η = Viscosidad del líquido (0.008007 poises para 30° C).

ρ_s = Densidad real promedio de las partículas, tomada como 2.65 g/L.

ρ_L = Densidad del líquido (0.9949 g/mL) para solución calgón-agua a 30° C).

g = Aceleración de la gravedad (980.7 cm/s²).

Los valores de d para la influencia de la temperatura en la viscosidad, están dados por:

$$d = \theta \sqrt{\eta/t} \eta_{30^{\circ}C}$$

Valores de θ calculados para diferentes valores de S y por lo tanto de lecturas del hidrómetro (L) han sido calculados y tabulados para una temperatura de 30° C a fin de facilitar los cálculos (Tabla 13-1).

13.3.1.1. Procedimiento

Calibrar cada hidrómetro de la siguiente manera: vertir 100 mL de la solución de calgón (10%) en el vaso de sedimentación y completar con agua destilada hasta 100 mL. Mezclar la solución con el émbolo agitador y esperar hasta que alcance la temperatura

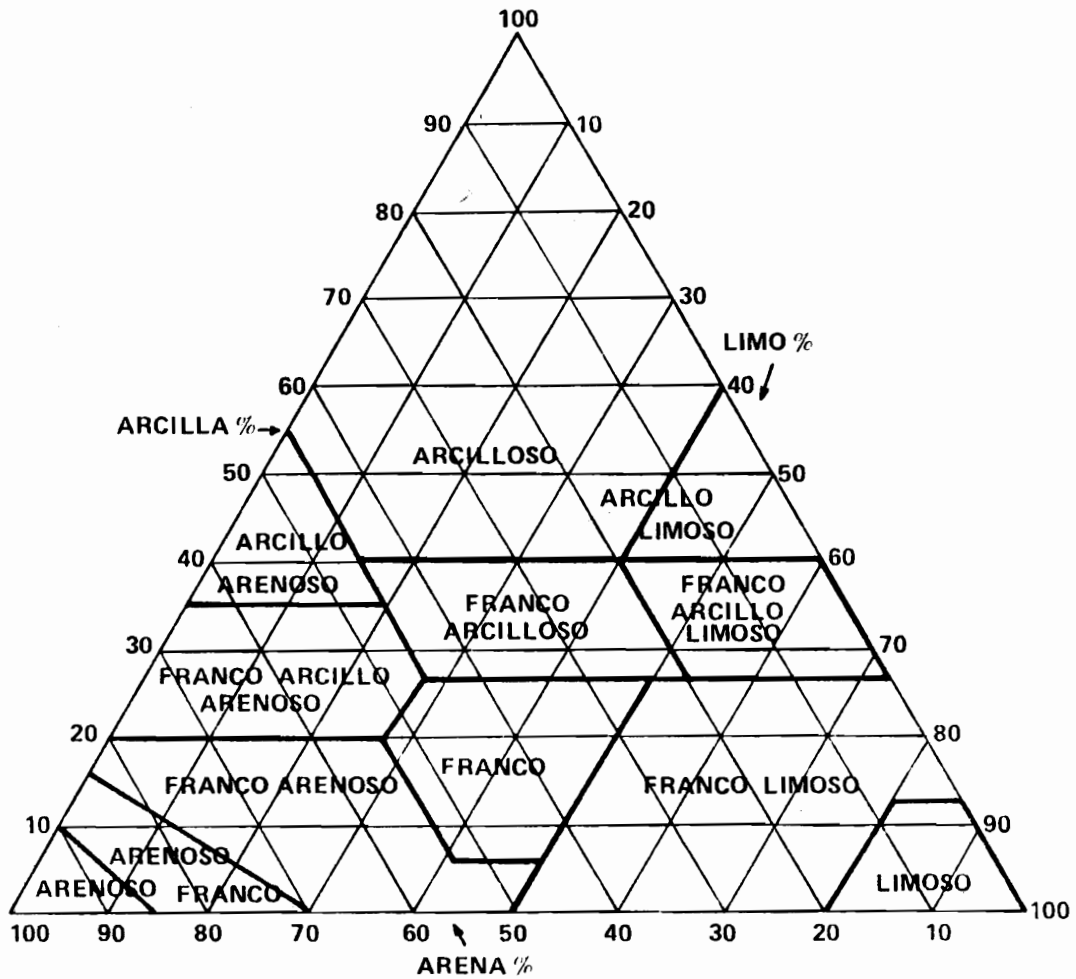


FIGURA 13 - 1. Triángulo de textura.

ambiente. Tomar la temperatura y cuidadosamente sumergir el hidrómetro en la suspensión para determinar la lectura (L') en el sitio donde el borde superior del menisco rodea la escala del hidrómetro.

Pesar 40 g del suelo problema y una cantidad igual para la determinación del peso seco (105°C). En ambos casos el suelo debe haber pasado por un tamiz de 2 mm.

Transferir los primeros 40 g de suelo (P) a un vaso de precipitado de 600 mL, agregar unos 50 mL de calgón y unos 400 mL de agua destilada. Dejar empapar durante 10 o 15 minutos. Transcurrido este tiempo transferir la solución con la ayuda de un frasco lavador a la copa de la dispersadora, agitar durante 10 o 15 minutos y transferir toda la suspensión al cilindro de sedimentación con ayuda del frasco lavador. Completar el volumen a 1000 mL con agua.

Colocar el vaso de sedimentación sobre la mesa y anotar la temperatura cuando ésta se estabilice. Introducir el agitador manual, moverlo de arriba hacia abajo varias veces para mezclar bien la suspensión, sosteniendo el vaso con la mano libre. Sacar el agitador inclinándolo ligeramente para devolver cualquier material que se haya adherido e inmediatamente anotar el tiempo. Introducir cuidadosamente el hidrómetro (añadir 1 o 2 gotas de alcohol amílico si hay espuma) y tomar la lectura 30 minutos después de haber agitado (11). Sin sacar el hidrómetro tomar otra lectura después de haber transcurrido un minuto de reposo (12). Sacar el hidrómetro con cuidado, enjuagarlo y secarlo. Posteriormente, sin haber mezclado la suspensión de nuevo, tomar lecturas a los 3, 10, 30, 90, 270, y 720 minutos introduciendo cuidadosamente el hidrómetro 10 segundos antes de completar el tiempo prefijado. Cada vez que se lee el hidrómetro debe tomarse la temperatura de la suspensión.

En caso de no poder hacerse las lecturas en los tiempos especificados, anotar el tiempo transcurrido hasta el momento en que se haga la lectura.

Una vez se hayan completado las lecturas del hidrómetro vertir el contenido del cilindro a un juego de tamices de 1, 0.5, 0.25, 0.10, y 0.05 mm colocados de arriba hacia abajo en este mismo orden. Con la ayuda de un frasco lavador forzar el paso de las partículas con diámetro inferior al de los huecos de los tamices para que pasen al siguiente. En cada tamiz quedan las diferentes fracciones de arenas (USDA), recoger las en latas individuales identificadas para cada tamaño de partícula, secar a 105°C y pesar. Lo

Tabla 13-1. Valores de θ para la determinación de tamaño de partícula en función de las lecturas observadas en el densímetro (Day, 1956).

L	θ	L	θ	L	θ
-4	50.1	11	46.4	26	42.2
-3	49.9	12	46.2	27	41.9
-2	49.6	13	49.5	28	41.6
-1	49.4	14	45.6	29	41.3
0	49.2	15	45.3	30	41.0
1	48.9	16	45.0	31	40.7
2	48.7	17	44.8	32	40.4
3	48.4	18	44.5	33	40.1
4	48.2	19	44.2	34	39.8
5	47.9	20	43.9	35	39.5
6	47.7	21	43.7	36	39.2
7	47.4	22	43.4	37	38.9
8	47.2	23	43.1	38	38.6
9	47.0	24	42.8	39	38.3
10	46.7	25	42.5	40	38.0

anterior equivale a los pesos M1, M2, M3, M4 y M5 que corresponden a los obtenidos desde el tamiz de 1 mm hasta el de 0.05 mm respectivamente.

Cálculos

Calcular para cada lectura la concentración de la suspensión en g/L y los porcentajes acumulativos.

Concentración de la suspensión: $C = L - L'$

Porcentajes acumulados: $P = 100 \times \frac{C}{P}$

en donde:

L = Lectura del hidrómetro.

L' = Lectura de calibración del hidrómetro.

P = Peso seco del suelo (105° C)

Calcular el diámetro equivalente de las partículas mediante la ecuación:

$$d = \frac{\theta}{\sqrt{t}}$$

en donde:

d = Diámetro en micras.

θ = Se obtiene de la Tabla 13-1

t = Tiempo de sedimentación en minutos.

Estos tamaños de partículas deben corregirse cuando la temperatura es diferente a 30° C, multiplicando por un factor "f" que se da en la tabla 13-2 en función de la temperatura.

$$d_{\text{real}} = d \times f$$

$$f = \frac{\sqrt{\eta}}{\eta_{30}}$$

η = Viscosidad del agua a temperatura de sedimentación .

η_{30} = Viscosidad del agua a 30° C

Calcular los porcentajes de cada una de las fracciones de arena de la siguiente forma:

$$\% \text{ partículas } 1-2 \text{ mm} = \frac{M_1}{P} \times 100$$

$$\% \text{ partículas } 1-0.5 \text{ mm} = \frac{M_2}{P} \times 100$$

$$\% \text{ partículas } 1-0.25 \text{ mm} = \frac{M_3}{P} \times 100$$

$$\% \text{ partículas } 1-0.10 \text{ mm} = \frac{M_4}{P} \times 100$$

$$\% \text{ partículas } 1-0.05 \text{ mm} = \frac{M_5}{P} \times 100$$

Tabla 13-2. Valores del factor de corrección f del diámetro de las partículas para temperaturas diferentes a 30^o C.

$t^{\circ}\text{C}$	f	$t^{\circ}\text{C}$	f
12	1.24	22	1.09
13	1.23	33	1.08
14	1.21	24	1.07
15	1.19	25	1.05
16	1.18	26	1.04
17	1.16	27	1.03
18	1.14	28	1.02
19	1.13	29	1.01
20	1.12	30	1.00
21	1.10	31	0.99
		32	0.98

Tabular convenientemente los resultados y sus correcciones. Con los valores de d (real) y P (% acumulado) construir un gráfico en papel logarítmico de 4 ciclos, poniendo los valores de d en la escala logarítmica.

Observaciones

- Conviene que las determinaciones de sedimentación sean hechas a temperatura constante.

- El grado de precisión de los resultados depende entre otras cosas de la magnitud de la desviación de la densidad real del suelo problema, de la densidad media (2.65 g/mL).

- Cuando el suelo presenta un contenido de materia orgánica superior al 5% conviene eliminarla con agua oxigenada.

- Para la eliminación de carbonatos, hierro, manganeso y sílice consultar a Jackson, 1956 o a Hutton 1955. Para trabajar con suelos salinos consultar a Reeve y Skjemstad, 1972 y para métodos de dispersión y ultrasónicos a Edwards y Bremmer (1967).

13.3.2. 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. Por tanto, tomando una muestra de un volumen dado a una profundidad S y a un tiempo t se toma una muestra de las partículas en suspensión.

13.3.2.1. Equipo y Reactivos

- Vasos de sedimentación de 1000 mL.
- Juegos de tamices.

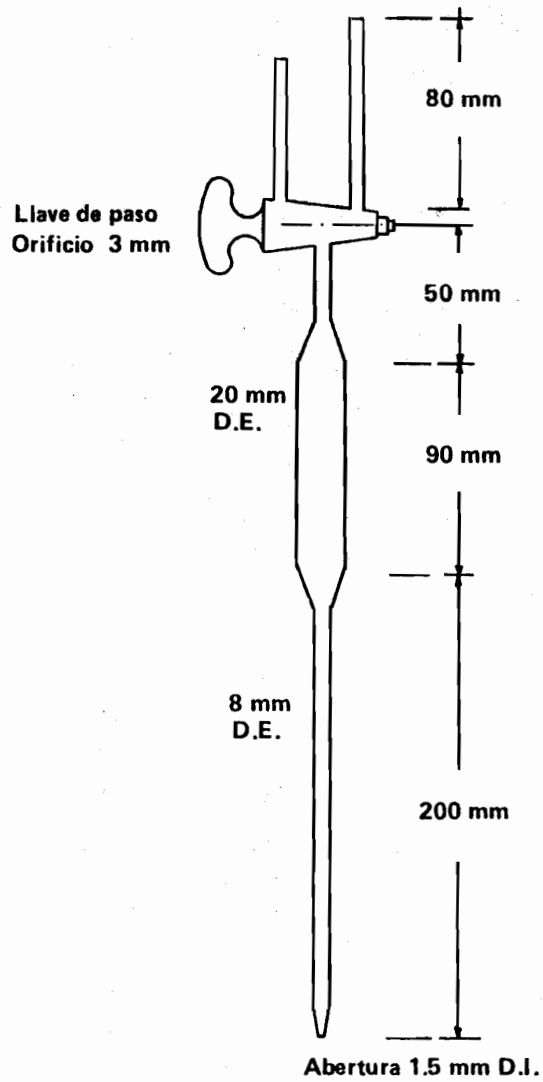


FIGURA 13 – 2. Pipeta especial para toma de muestras de suspensión.

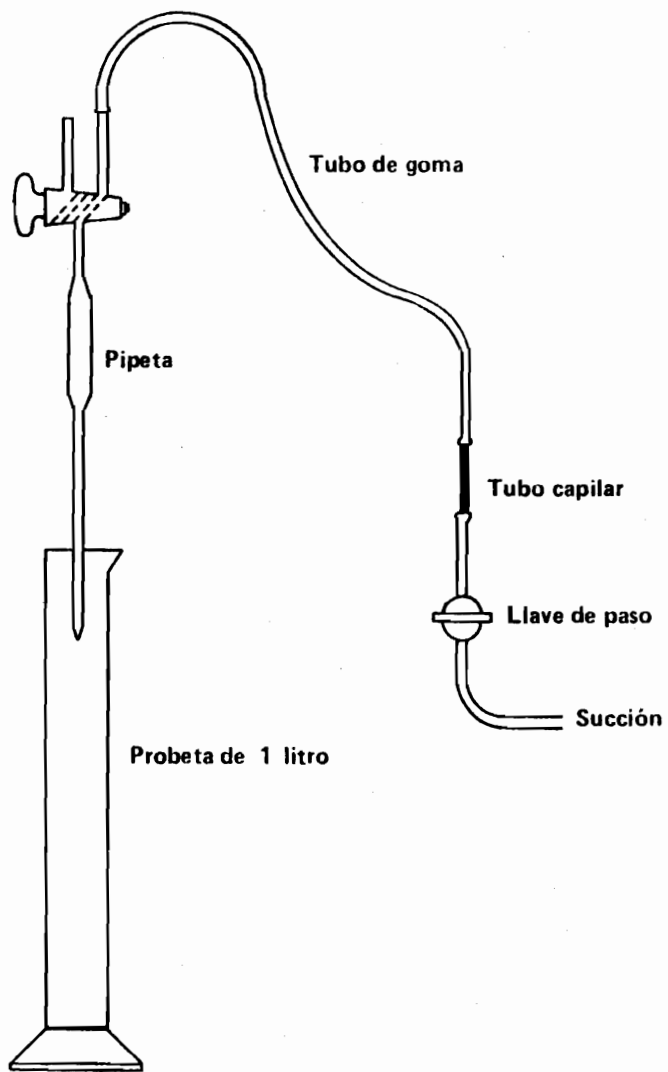


FIGURA 13 – 3. Muestreo con pipeta.

- Plancha de calentamiento.
- Frascos lavadores.
- Pipeta automática (Lowy).
- Agente dispersante (calgón).
- Agitador manual.
- Agitador recíproco.
- Frascos (teteros de 8 onzas).
- Estufa.
- Cápsulas de humedad.
- Centrífuga

13.3.2.2. Procedimiento

Secar (105°C), moler y pasar la muestra por un tamiz de 2 mm. Cuando la tierra haya pasado a través del tamiz, dejándolo solo la grava, pesar ambas fracciones o descartar la grava si no se requiere este dato.

Mezclar bien el suelo sobre un plástico flexible subiendo primero un lado y luego el otro hasta que haya un buen mezclado. Si se requiere muestrear, tomar pequeñas porciones representativas de diferentes partes de la muestra, combinarlas para obtener el peso deseado.

Pesar aproximadamente 10 g de la muestra en un beaker de 250 mL con una precisión de 0.01 g. Secar la muestra durante la noche a 105°C , enfriar en desecador y pesar de nuevo. Adicionar 30 mL de agua y cubrir el beaker con un vidrio de reloj. Agitar el líquido moviendo suavemente el beaker. Agregar cuidadosamente unos 5 mL de H_2O_2 al 30% para eliminar la materia orgánica. Agitar la suspensión para reducir la producción de espuma. Si la reacción persiste, adicionar mas agua oxigenada en la misma forma y completar la digestión calentando el beaker durante una hora a mas de 90°C en plato caliente, baño caliente o estufa. Repetir el tratamiento si se observa que todavía hay reacción.

Obtenido esto, pasar el suelo a un tubo de centrifuga de 250 mL, adicionar agua hasta completar 250 mL, equilibrar los suelos en balanza, agitar y centrifugar a 1500 rpm por 5 minutos, descartar el sobrenadante. Agregar nuevamente agua y repetir la operación por

unas tres veces. Pasar la muestra al beaker, secar a 105^o C y pesar. La diferencia entre el peso inicial y éste da el peso de la muestra libre de materia orgánica.

Transferir todo el suelo a frascos teteros de 8 onzas, añadir 10 mL de calgón y con agua llevar a un volumen de 5 o 6 onzas, tapar el frasco y agitar durante la noche en agitador horizontal recíproco de 120 oscilaciones por minuto.

Separación de partículas gruesas

Colocar un embudo de boca ancha sobre un vaso de sedimentación de 1000 mL. Sobre el embudo acoplar un embudo de 47 micras que esté limpio, sin roturas y humedecido por ambos lados. Vertir sin agitar la suspensión contenida en el tetero a través del tamiz. Añadir agua al residuo que queda en el frasco, remover la mezcla y dejarla en reposo por 1 o 2 minutos y de nuevo vertir la suspensión al vaso de sedimentación a través del tamiz. Repetir este proceso hasta que la mayor parte del material fino haya sido transferido. Entonces, con la ayuda de un frasco lavador arrastrar las partículas que permanecen en el tetero. Cuando no quede ningún residuo en el frasco, proyectar cuidadosamente un chorro de agua con el frasco lavador sobre el material retenido en el tamiz para obtener una separación completa entre material fino y grueso. Añadir agua hasta completar un litro. Cubrir con vidrio de reloj.

Colocar el tamiz junto con el material retenido por él sobre una cápsula tarada y secar en la estufa (105^o C). Enfriar y transferir la fracción arenosa a la cápsula con la ayuda de una brocha suave. Introducir de nuevo la cápsula a la estufa durante 2 horas, enfriar y pesar con una precisión de 0.01 g la cápsula con arena. Ordenar un juego de tamices de la siguiente forma de arriba hacia abajo: 100, 500, 250, 177, 105, y 47 micras. Transferir el contenido de la cápsula del tamiz superior y tamizar. Cerciorarse de que los tamices estén limpios y sin roturas.

Terminado el tamizado, colocar la fracción retenida en cada tamiz en una cápsula tarada previamente identificada y pesar. Incluir el peso del "limo residual" que haya caído en la botea inferior. Comparar el peso acumulado de todas las fracciones con el peso total de la fracción gruesa.

Separación de la partículas finas

Sedimentación y muestreo con la pipeta:

Anotar la temperatura de la suspensión del vaso de sedimentación cuando esta se haya estabilizado. Con una regla hacer una marca a 10 cm de profundidad a partir del borde de la suspensión. Sumergir el émbolo en la suspensión y moverlo verticalmente para mezclar bien. Sostener con firmeza la probeta. Al sacar el émbolo inclinarlo por encima de la suspensión para dejar caer las gotas que se hayan adherido. Anotar el tiempo. Colocar el vaso de sedimentación junto a la pipeta muestreadora (Figura 13-2). Utilizando la Tabla 13-3, determinar los tiempos de sedimentación de los diferentes diámetros de partícula para diferentes temperaturas. Sumergir la pipeta (Figura 13-3) a 10 cm de profundidad 30 segundos antes de cada tiempo de muestreo. Abrir la llave de succión al momento del muestreo y cerrar la una vez se llene la pipeta. Anotar el volumen muestreado. Subir la pipeta, secarla y verter su contenido en una cápsula previamente tarada (0.001 g) enjuagar la pipeta, verter el líquido de lavado en la cápsula y secar a 105° C. Enfriar en desecador y pesar con precisión de 0.001 g.

Basándose en la tabla 13-3 de tiempo de sedimentación proceder a tomar las muestras que se deseen para los diferentes diámetros. Si es necesario, volver a agitar y tomar como tiempo cero el correspondiente al último agitado con el émbolo. Medir siempre la profundidad de muestreo desde la superficie de la suspensión y no desde el nivel usado para el muestreo precedente.

Cálculos

Calcule el peso no corregido de las partículas en un intervalo de tamaño dado por la siguiente fórmula:

$$\text{Peso no corregido} = \frac{PY}{V}$$

en donde:

P = Peso seco de la muestra de la pipeta.

V = Volumen total de la suspensión (1000 mL).

v = Volumen de la pipeta (mL).

Para el peso corregido, calcular el peso del agente dispersante. Tomar 10 mL del dispersante, completar a 1000 mL y tomar una muestra de un volumen igual al usado en el análisis. Colocarlo en un cápsula tarada, secar y pesar. Esta operación debe hacerse siempre que se prepare una nueva solución de dispersante. Obtener los pesos acumulados por diferencia (ΣP) y por una nueva diferencia entre los pesos correspondientes a cada fracción (diámetros), obtener los pesos reales. Las tablas 13-4 a 13-6 permiten seguir un ejemplo. Calcular la pérdida de solución y tamizado (Tabla 13.6).

El término pérdida de solución se refiere no solo a los solutos que se pierden por lavado, sino también a las pérdidas por materia orgánica por volatilización y a pérdidas mecánicas. Calcular el peso del limo grueso (Tabla 13-6). Resumir los resultados (Tabla 13.7) y graficar los en papel semilogarítmico de cuatro ciclos.

Observaciones

- El peróxido de hidrógeno (H_2O_2) ataca la parte coloidal y humificada de la materia orgánica pero no la fibra.
- Si el suelo es rico en sales cálcidas, remover el $CaCO_3$ antes de tratar con H_2O_2 .
- La efectividad del H_2O_2 en descomponer la materia orgánica se reduce por la presencia de MnO_2 . Esto se puede solucionar adicionando al suelo una cucharadita de ditionito de sodio, lavando con centrifugación y eliminando el sobrenadante. Una vez hecho esto se adiciona H_2O_2 .

Tabla 13-3. Tiempo de sedimentación para partículas de 2, 5, y 20 micras de diámetro en agua para una profundidad de 10 cm.

Temperatura	Tiempo de sedimentación para los diámetros indicados					
	2 MICRAS		5 MICRAS		10 MICRAS	
	Horas	Minutos	Horas	Minutos	Horas	Minutos
20	8	0	1	17	4	48
21	7	9	1	15	4	41
22	7	38	1	13	4	35
23	7	27	1	11	4	28
24	17	17	1	10	4	22
25	7	7	1	8	4	16
26	6	57	1	7	4	10
27	6	48	1	5	4	4
28	6	39	1	4	4	0
29	6	31	1	3	3	55
30	6	22	1	1	3	49
31	6	14	1	0	3	44

Tabla 13-4. Cálculos de la muestra de la pipeta*

Tamaño de Partícula mm	Peso Muestra g	Volumen Muestra mL	Volumen Suspensión mL	PV/V g	P g	P(1) g
0.020	0.114	26.49	1,000	4.30	3.81	1.54
0005	0.073	26.49	1,000	2.76	2.27	0.61
0.002	0.057	26.49	1,000	2.15	1.66	1.66

* Concentración del agente dispersante 0.49 g/L

$$(1) 3.81 - 2.27 = 1.54$$

$$2.27 - 1.66 = 0.61$$

1.66 corresponde a la última fracción.

BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

Tabla 13-5. Cálculos de la muestra del tamizado.

Tamaño nominal	Peso de la arena	Peso de fracciones
mm	g	g
2	0.00	0.00
1	0.01	0.01
0.5	0.03	0.02
0.25	0.06	0.03
0.10	0.58	0.52
0.05	2.02	1.44
0.00	2.31	0.29

Tabla 13-6. Cálculo de la muestra en análisis de tamaño de partículas.

	<u>Gramos</u>	
Peso inicial de la muestra	10.21	P1
Peso de la muestra desecada	9.93	P2
Peso del suelo lavado	9.72	P3
Diferencia = pérdida de solución	0.21	P2 - P3
Peso de la fracción gruesa:	2.33	P4
- Después del tamizado en húmedo	2.31	P5
- Después del tamizado en seco	0.02	P6
Pérdida de tamizado		P4-5-6
Peso del limo residual	0.29	P7
Peso de arena (2.33 - 0.29)	2.04	P4-7
Peso de arena mas limo por diferencia = (9.72 - 2.04)	7.68	P3-4-7
Peso de la fracción de 20	3.81	P8
Diferencia = peso limo grueso (50 a 20)	3.87	P3-4-7

Tabla 13-7. Resumen de los cálculos

Tamaño nominal		Peso fracción	p*	p**
mm		g	%	
2	- 1	0.01 (Tabla 13-5)	0.1	99.8 (a)
1	- 0.5	0.02	0.2	99.7
0.5	- 0.25	0.03	0.3	99.5
0.25	- 0.1	0.52	5.4	99.2
0.1	- 0.05	1.44	14.8	93.8
0.05	- 0.02	3.87 (Tabla 13-6)	39.8	79.0
0.02	- 0.005	1.54 (Tabla 13-4)	15.8	39.2
0.005	- 0.002	0.61	6.3	23.4
0.002	- 0	1.66	17.1	17.1

P* = (Peso de la fracción) 100/(peso de suelo lavado).

P** = Porcentaje de partículas en peso mas pequeñas que el límite superior de la columna 1.

(a) = Pérdidas por tamizado (0.2%)

13.4. Densidad Aparente

13.4.1. Introducción

La densidad aparente conocida también como densidad de volumen o densidad bulk, se refiere a la relación entre el peso y la unidad de volumen de una masa de suelo, incluyendo su espacio poroso. Por esta razón, la densidad aparente es útil para el cálculo de la porosidad total del suelo y para convertir porcentaje de agua en peso a porcentaje en volumen. La densidad aparente está íntimamente relacionada con otras propiedades físicas como textura, estructura, retención y movimiento de agua y calor específico. Un valor alto en la densidad aparente es índice del grado de compactación del suelo, y por tanto de la dificultad para la penetración y desarrollo del sistema radicular. La densidad aparente es un parámetro útil en la génesis y calcificación del suelo; así por ejemplo, a los Andepts (Andosoles) se les exige valores menores de 0.85 y a los Histosoles valores menores de 0.1. Esta característica también es utilizada para los cálculos de la láminas de riego.

Existen varios métodos para la determinación de la densidad aparente. En este Manual se describirán el del terrón parafinado y el del cilindro.

13.4.2. Método del Terrón Parafinado

Secar al aire un terrón de la muestra problema. Construir una canasta con alambre fino en la cual se introduce el terrón (también se puede amarrar el terrón con hilo resistente). Pesar el conjunto. Sumergir por unos instantes el terrón en un recipiente que contenga parafina líquida (50° C). Permitir que el exceso de parafina drene y se solidifique en el terrón. Pesar el terrón, la parafina y la canasta. Suspender el sistema en agua y pesar de nuevo. Determinar el peso de la canasta en aire y en agua. Romper el terrón y pesar una porción a una cápsula tarada para hallar el porcentaje de humedad (P_w) a 105° C. Calcular la masa seca del suelo problema.

Cálculo de la densidad aparente

$$D_a = \frac{d_w W_{ods}}{[W_{sa} - W_{spw} - + W_{pa} - (W_{pa} d_w)/d_p]}$$

en donde:

D_a = Densidad aparente (g/cm³)

d_w = Densidad del agua a la temperatura de la determinación.

W_{ods} = Peso de la muestra expresado como seco a estufa (105° C).

W_{sa} = Peso neto de la muestra seca al aire.

W_{spw} = Peso de la muestra mas parafina en agua.

W_{pa} = Peso de la parafina al aire (se obtiene por diferencia).

d_p = Densidad de la parafina (aproximadamente 0.9 g/mL).

Observaciones

- Muchos suelos tienden a contraerse, reduciendo su volumen a medida que se secan; por esta razón es conveniente determinar su volumen cuando el contenido de humedad es próximo a la capacidad de campo; esto se consigue secando el terrón y sometiéndolo a una tensión de 1/3 de atmósfera en una olla de presión antes de pesarlo y parafinarlo. Sin embargo, en el laboratorio los terrones se pueden parafinar a la humedad de campo.

- Al parafinar el terrón es necesario que no se formen burbujas, entre el terrón y la parafina y que no se produzca relleno de los poros grandes.

- Varias otras sustancias se usan para esta determinación. Colodión, mezclas de ceras, aceites y resinas sintéticas, de las cuales se afirma que producen capas mas finas que no alteren mucho el volumen del terrón.

- La determinación del volumen del terrón parafinado puede hacerse por diferencia de peso en el aire y en el agua como se indicó en el procedimiento; o midiendo el volumen desalojado por el terrón cuando se sumerge dentro de una probeta con agua.

- Algunos suelos, principalmente los que tienen alto contenido de materia orgánica, flotan en el agua. En este caso es necesario atarle al terrón una pesa para que se sumerja. En los cálculos debe tenerse en cuenta que pesa sufre una disminución de peso proporcional a su volumen.

13.4.3. Método del Cilindro

Para este método es necesario un barreno tipo Uhland para toma de muestras sin disturbar con su correspondiente juego de anillos biselados. Usualmente los cilindros muestreadores son de 7 x 7 o de 5 x 5 cm.

13.4.3.1. Procedimiento

En cada uno de los horizontes en los cuales se desea conocer la densidad aparente, tomar una muestra representativa de suelo, usando el barreno para toma de muestra indisturbada o un anillo biselado; una vez que el anillo esté lleno de suelo, enrasar con una navaja cortante. Colocar en estufa a 105° C hasta peso constante y pesar.

Cálculos

Para calcular la densidad aparente (D_a) basta dividir el peso del suelo a 105°C (W_{ods}) entre el volumen del cilindro (V_C).

$$D_a = \frac{W_{ods}}{V_c}$$

Observaciones

-El muestreo generalmente se hace introduciendo el barrenado o anillo verticalmente sobre cada uno de los horizontes en que se desee conocer la densidad aparente; sin embargo, al tomar muestras en calicatas, se puede introducir el barrenado en forma horizontal, sobre la cara de los horizontes. Siempre se debe evitar que la muestra se compacte.

- Cuando no es posible usar muestras de humedad, se puede usar para transporte de muestras de laboratorio, bolsas de polietileno cerradas. Lo importante es que no ocurran pérdidas de suelo. Cuando se transvase el material del cilindro a la bolsa.

- Cuando se desea comparar densidad aparente de suelos expansivos, las muestras deben equilibrarse primero a cierta succión cercana a capacidad de campo.

13.5. Densidad Real (Método del Picnómetro)

13.5.1. Introducción

La densidad real o de partículas se refiere a la relación de peso por unidad de volumen de los sólidos del suelo sin tener en cuenta el espacio poroso. Esta característica guarda relación con la composición mineralógica y el contenido de materia orgánica del suelo.

Dentro de la fracción mineral se presentan variaciones desde cerca de 2 g/cm³ para arcillas hidratadas y hasta valores cercanos a 5 g/cm³ para óxidos de hierro. Para los minerales más comunes del suelo, se acepta un valor promedio de 2.65 g/cm³. Los compuestos orgánicos poseen densidad real próxima a 0.5 g/cm³, por lo tanto, a medida que aumenta la materia orgánica del suelo, disminuye la densidad real.

Existen varias técnicas para la determinación de la densidad real del suelo entre las cuales la más conocida y precisa es la del picnómetro.

13.5.2. Principio

La densidad real de una muestra de suelo se puede calcular cuantificando su masa y su volumen. La masa se determina por peso y el volumen por la densidad y la masa del agua (u otro fluido) desplazado por la muestra.

13.5.3. Procedimiento

Pesar un picnómetro limpio y seco con la tapa. introducir mas menos 10 g de suelo seco al aire (si la densidad se va a realizar en un frasco volumétrico de 100 mL pesar 50 g de suelo). Limpiar las partículas de suelo que se hayan adherido al cuello del picnómetro. Pesar el picnómetro con el suelo y la tapa. Determinar el contenido de humedad secando otra muestra del mismo a 105⁰ C hasta peso constante. Adicionar agua al picnómetro hasta la mitad de su volumen. Remover el aire de todo el conjunto calentando suavemente, haciendo ebullicir el agua y agitando en forma suave.

Enfriar el picnómetro y su contenido a temperatura ambiente y agregar agua destilada que haya sido previamente hervida y enfiada) hasta llenar completamente el picnómetro. Colocar la tapa, secar la parte exterior del picnómetro, pesar y determinar la temperatura del contenido. Remover todo el contenido del picnómetro y llenarlo completamente con agua destilada hervida, secar la parte exterior del picnómetro y pesar. Medir la temperatura del agua.

Cálculos

$$D_r = \frac{d_w (W_s - W_a)}{(W_s - W_a) - (W_{sw} - W_w)}$$

en donde:

D_r = Densidad de partículas o densidad real.

d_w = Densidad del agua en g/mL a la temperatura observada.

W_s = Peso del picnómetro mas el suelo.

W_a = Peso del picnómetro con aire (picnómetro vacío).

W_{sw} = Peso del picnómetro lleno con suelo y agua.

W_w = Peso del picnómetro lleno con agua a la temperatura observada.

Observaciones

Este método es mas preciso cuando se efectúan las pesadas con cuidado. Un error de 2 mg en una muestra de 10 g de suelo, origina un error en la densidad real del orden de 0.0003 g/mL. Un error de 10 mg en muestra de 30 g de suelo conduce a un error de 0.001 g/mL.

13.6. Determinación de la Porosidad

13.6.1. Principio

La porosidad juega un papel principal en el desarrollo de las plantas, ya que determina la relación aire-agua.

Porosidad Total

Esta característica se determina con base en las densidades real y aparente. Su cálculo se hace mediante la siguiente ecuación:

$$P (\%) = 100 (1 - D_a/D_r)$$

en donde:

P = Porosidad total.

D_0 = Densidad aparente.

D_r = Densidad real.

13.7. Macro y Microporosidad

13.7.1. Principio

Más importante que la porosidad total del suelo es la relación existente entre macro y microporos, cuyo límite ha sido establecido en 60 micras. Se considera que hay una proporción adecuada, cuando el 50% de la porosidad total está constituida por macroporos (> 60 micras) y el otro 50% por meso y microporos. Algunos investigadores dan más importancia a la microporosidad indicando que debe constituir las 2/3 partes de la porosidad total. Debe recordarse que para que haya una buena suplencia de oxígeno para las raíces, la macroporosidad debe constituir al menos un 10% de la porosidad total.

Para hacer la separación entre macro, meso y microporosidad, basta con someter una muestra no disturbada a equilibrio con una succión de 50 cm. Cuando la muestra está en equilibrio con esta succión, los poros con diámetro igual o superior a 60 micras son los primeros en ser drenados. Para hacer esta determinación se debe disponer de los datos densidad aparente y de porosidad. La diferencia entre la porosidad total y el contenido de humedad a 50 cm de succión da la macroporosidad, lo restante es meso y microporosidad.

13.8. Determinación de las Curvas de Retención de Humedad.

13.8.1. Introducción.

Las características de humedad del suelo, también llamadas curvas de absorción o curvas de retención de humedad, relacionan la cantidad de agua retenida por un suelo con el estado de energía potencial de esa agua. Generalmente las curvas características de retención de humedad del suelo son incrementos sucesivos de succiones (presión negativa) impuestas determinando el contenido de humedad que se encuentra en equilibrio a determinada succión.

La relación exacta humedad-succión depende de si el suelo está humedeciendo o drenando y en suelos expansivos, de si la muestra está confinada o no. Mas agua es retenida a cualquier succión, si la muestra está drenando hasta alcanzar equilibrio con succiones sucesivamente mayores que si está humedeciendo a partir de un estado mas seco. Este fenómeno es conocido como histéresis. Para fines prácticos es mas utilizada la curva procedente de drenaje que la de humedecimiento.

Una curva completa de retención de humedad cubre el rango desde suelo saturado (sección cero) hasta suelo seco en la estufa (105°C). Sin embargo, cada vez es necesario obtener la curva completa y se determina solo una parte de ella dependiendo de las razones que se tenga para hacer las medidas.

En la mayoría de estudios de la relación planta-agua-suelo es costumbre medir la retención de humedad a 15 bares (aproximadamente a punto de marchitez) y a succiones bajas de 0.06, 0.1 o 0.3 bares (aproximaciones a capacidad de campo), tomando la diferencia como una aproximación de agua aprovechable. Sin embargo, es conveniente obtener una curva mas completa dentro de este rango, para conocer con qué energía es retenida el agua. La curva de retención de humedad entre 60 cm y 15 bares se succión, obtenida por drenaje, cubre bien los requerimientos edafológicos. El rango mas importante es posiblemente de 0 a 1 bar para la mayoría de los suelos y de 0 a 3 bares para suelos arcillosos.

Las muestras que se toman para hacer las determinaciones deben ser tan cercanas como sea posible a las condiciones de campo. Las propiedades que mas afectan la retención de humedad son la textura y la estructura, por lo tanto las mediciones deben hacerse de

preferencia en muestras no disturbadas. Sin embargo, parece que la macroestructura afecta la retención de humedad hasta 2 o 3 bares, a succiones mayores no hay mucha diferencia entre usar muestra no disturbada o molida y tamizada a 2 mm. Por lo tanto conviene usar muestras no disturbadas hasta 3 bares y disturbadas por encima de 3 bares. Las muestras no disturbadas pueden tomarse en cilindros o ser terrones grandes.

13.8.2. Determinación de la Retención de Humedad a Succiones Bajas

13.8.2.1. Método de la Mesa de Tensión

Para la determinación de la retención de humedad hasta -0.1 bar (-100 cm) se usa la mesa de tensión de arena uno de cuyos esquemas aparece en la Figura 13-1. Para construir el aparato se pueden seguir los procedimientos descritos por Starkman et al. (1969) y de Avery y Bascomb (1974). Estos últimos autores describen un sistema que se puede usar hasta para succiones de 400 milibares (1 milibar = 400 cm) usando una mesa de caolín.

13.8.2.1.1. Procedimiento

Una vez tomada la muestra no disturbada enrasarla a los bordes del cilindro teniendo sumo cuidado de no sellar los poros grandes. Para ello es preferible usar el cuchillo en forma perpendicular a los bordes del cilindro. Una vez evasada la muestra, acoplar al fondo del cilindro una tela de nylon o gasa y sujetarla alrededor del cilindro con una bandita de caucho y ponerla a saturar. Una vez saturada, colocar la mesa de tensión saturada a 60 milibares y pesar a la 24 horas. Colocar de nuevo por otro día y pesar. Si la muestra está perdiendo peso colocarla de nuevo en la mesa hasta que la pérdida de peso sea inferior a 0.05 g o 0.01 g. Cuando esto ocurra colocarla en la succión siguiente. Generalmente una muestra tarda 7 días para equilibrarse a cada succión y en algunos casos hasta 20 días.

Cálculos

Las medidas de contenido de agua se expresan en términos de masa (%) de suelo seco (105° C) y se convierten a volumen (%) usando la densidad aparente, la cual se puede

LIBRERIA NACIONAL
F. 100.000.000.000.000.000

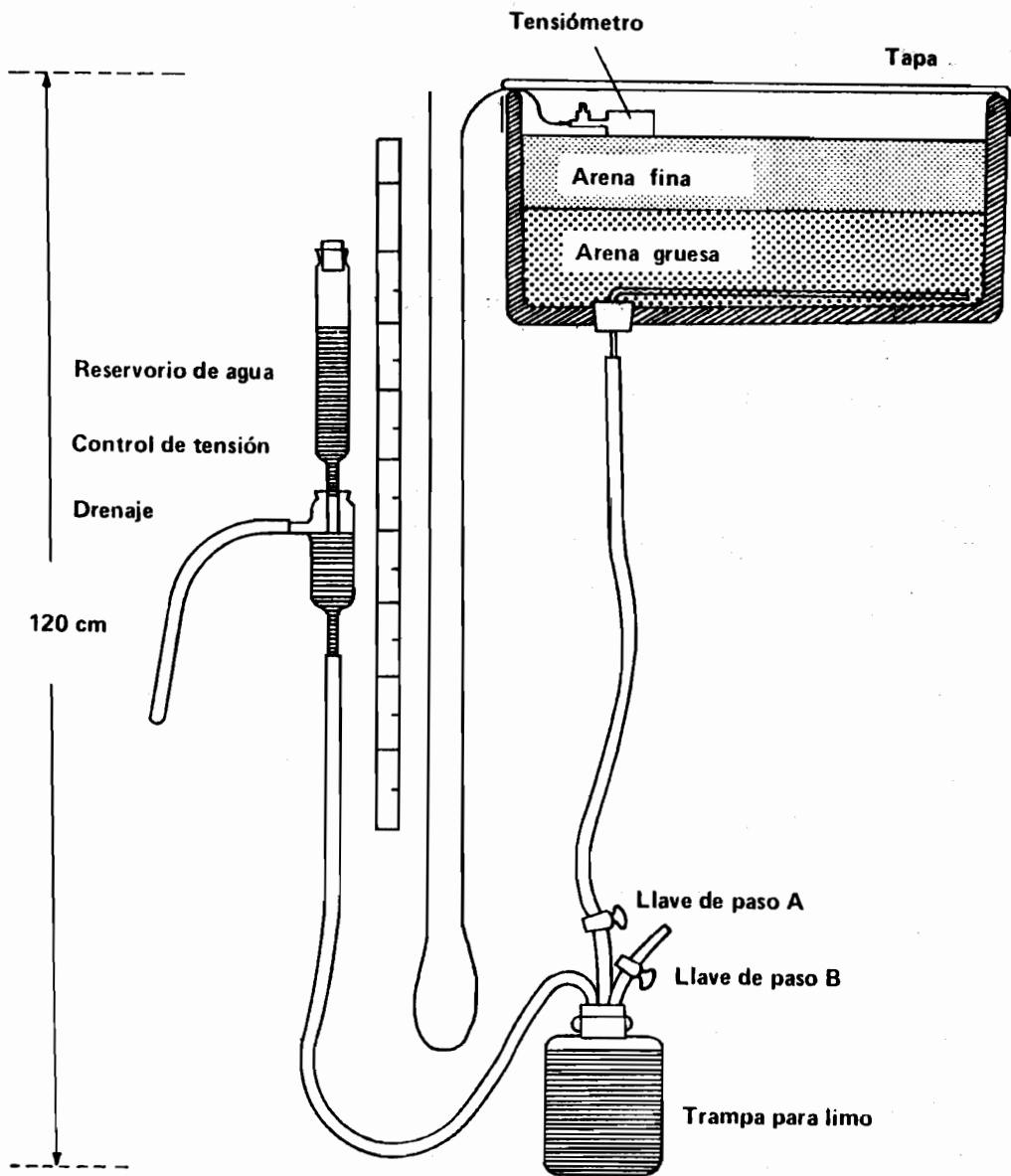


FIGURA 13 - 4. Mesa de tensión de arena para la determinación de la retención de humedad hasta -0.1 bar (-100 cm). Esquema tomado de Archer y Marks (2).

determinar usando el peso seco y las dimensiones internas del cilindro. Para estar mas seguro de los resultados se sugiere hacer tres replicaciones por cada profundidad de muestreo.

El porcentaje de humedad gravimétrico (θ_s) puede expresarse en la forma siguiente:

$$\theta_s (\%) = \frac{M_h \text{ en equilibrio} - M_s}{M_s} \times 100$$

en donde :

M_h = Masa de suelo equilibrada de cada succión

$M_{h1} = 50 \text{ cm};$

$M_{h2} = 100 \text{ cm};$

$M_{h3} = 300 \text{ cm}$

M_s = Masa de suelo seco en la estufa (105° C)

El porcentaje de humedad volumétrico se expresa como sigue:

$$\theta_v = \theta_s \times D_a \text{ (densidad aparente)}$$

13.8.2.2. Método de la Olla de Presión Usando Presión Hidrostática

En caso de no tener mesas de tensión, se puede determinar el contenido de humedad a bajas succiones (Ej.: 0.01, 0.05, 0.1, 0.2 bares) utilizando el plato de cerámica de 1 bar como plato de succión. Para ello se coloca el plato o los platos (dependiendo del número de muestras) dentro de la olla, la cual servirá de soporte mientras se aplica la succión hidrostática. Observar que el principio es el mismo de las mesas de tensión, la succión es proporcionada por una columna colgante de agua.

En un recipiente, saturar el plato de 1 bar, asegurándose de que esté bien limpio, saturar sobre él las muestras no disturbadas (manejar las igual que en el plato de tensión). Asegurarse de que haya buen contacto entre plato y muestra. Acoplar al sistema de drenaje

del plato una manguera de unos 3 m de largo. Para aplicar correctamente la succión hidrostática al plato, eliminar primero el aire que queda atrapado entre el plato y la base de hule, purgando el sistema de la siguiente manera: colocar el plato con las muestras en la olla de presión; conectar el tubo de drenaje del plato, cerrar la olla y aplicar una presión de 5 libras por pulgada cuadrada por corto tiempo para que el agua pase a través del plato al hule. Una vez el aire ha sido eliminado, lo que se constata examinando la línea de drenaje, dejar de aplicar la presión. Destapar, quitar el exceso de agua que queda sobre el plato succionando con un frasco lavador vacío. Tapar y permitir que actúe la presión hidrostática bajando la manguera acoplada al sistema de drenaje del plato a la altura requerida, dependiendo de la succión que se debe emplear (h: 10, 50, 100 o 200 cm de succión) El sistema también puede purgarse introduciendo un tubo más delgado que el del drenaje hasta el espacio entre el drenaje y la base de hule. Si se acumula aire en la línea inyectar agua a presión por el tubo más angosto para eliminarlo.

Una vez equilibradas las muestras a las diferentes succiones, tapar bien la línea de drenaje para evitar rehumedecimiento. Pesar las muestras en húmedo y someterlas a la succión siguiente: cuando se equilibre a 200 cm pesar en húmedo, llevar las muestras a la estufa (105° C) y determinar los porcentajes de humedad correspondientes a cada succión tal como se indicó en el método anterior.

13.8.2.2.1. Determinación de las Curvas de Retención Entre 2 y 15 Bares

Usar el equipo destinado para este fin. Saturar las muestras en los platos correspondientes. Hay relación estrecha entre la porosidad del plato y la presión correspondiente. Una vez saturadas las muestras y el plato (24 horas) y eliminado el exceso de agua, colocar las muestras en la olla de presión, conectar el tubo del drenaje y sellar herméticamente la olla, prender el compresor y con ayuda de las válvulas aplicar la presión correspondiente (1 bar = 14.5 libras por pulgada cuadrada) para cada punto escogido de la curva. Al aplicar la presión el agua y el aire salen rápidamente. Generalmente esta etapa dura 5 minutos y luego hay un flujo regular de agua. Revisar todas las conexiones por donde puede ocurrir escape de presión.

Cuando las muestras hayan alcanzado el equilibrio (ya no hay más drenaje) disminuir la presión y llevarla a cero. Tapar el extremo del tubo de drenaje. Destapar la olla, poner

las muestras en latas herméticas y taradas, pesar las y secar las (105° C). Volver a pesar y determinar el porcentaje de humedad.

13.9. Capacidad de Campo.

Cuando se humedece un suelo por irrigación o por lluvia, la distribución del agua durante y después del humedecimiento, obedece a gradientes de potencial. Inicialmente los gradientes de potencial métrico y gravitacional, en suelos con buen drenaje, causan un rápido movimiento vertical de agua dentro del suelo seco, vaciándose los poros mas grandes en un periodo de 24 a 48 horas. Así mismo, en este periodo se reducen drásticamente la conductividad hidráulica y la velocidad de drenaje y queda el agua retenida en poros medianos y pequeños por fuerzas de capilaridad de superficie. Estos no drenan por acción de la gravedad o drenan muy lentamente.

La cantidad de agua retenida y almacenada en el suelo después del humedecimiento y subsecuente drenaje es importante, tanto para el crecimiento vegetal como para estudios hidrológicos. La cantidad de agua almacenada que posteriormente puede ser tomada por las plantas es determinada por la cantidad de agua retenida y almacenada después de humedecimiento y drenaje y aquella que se encuentra en el suelo cuando las plantas se marchitan. El límite superior de humedad comunmente se conce como capacidad de campo y el límite inferior como punto de marchitez permanente y la diferencia entre los dos como agua aprovechable.

Rinch (1971), define la capacidad de campo como el "porcentaje de humedad que permanece en el suelo 2 o 3 días después de haber sido saturado y después de que el drenaje libre prácticamente ha cesado". Esta definición se aplica a los suelos bien drenados.

13.9.1. Determinación de la Capacidad de Campo

13.9.1.1. Equipo

- Equipo para humedecer un área de aproximadamente 2 x 2 m. Para cubrir el área de la parcela contra la evaporación puede utilizarse tela plástica y tela de cabuya.
- Equipo para toma de muestras no alteradas a varias profundidades.
- Equipo para almacenaje y transporte de las muestras.
- Equipo para medir densidad aparente.
- Balanza y estufa.

13.9.1.2. Procedimiento

Si el suelo no ha sido humedecido previamente por irrigación o lluvia, adicionar suficiente agua como para humedecer el perfil hasta 1 m de profundidad. Adicionar mas agua si la profundidad es mayor. Tener en cuenta que se debe mojar por lo menos 50 cm mas de la profundidad a la cual se va a tomar la última muestra.

Cuando el agua adicionada haya desaparecido de la superficie, cubrir el área con tela de polietileno y poner sobre ella los sacos de cabuya, cubriendo de nuevo con polietileno. Este tipo de cobertura aísla contra grandes cambios de temperatura.

Después de 24 a 72 horas (el tiempo se incrementa de suelos arenosos a arcillosos) tomar muestras en cilindros a las profundidades requeridas o tomar terrones grandes, para hacer las determinaciones de humedad y densidad aparente. Alternativamente se pueden tomar muestras con un muestreador de humedad, pero debe conocerse la densidad aparente del suelo.

Empaquetar los cilindros, los terrones o la muestra disturbada en cajas herméticas. Encontrar la profundidad de humedecimiento mediante el uso del barreno. Errores en la medida de la capacidad de campo pueden esperarse dentro de los 30 cm del frente de humedecimiento.

Es recomendable tomar un segundo muestreo a las mismas profundidades 24 horas después del primero para chequear la rata de cambio del contenido de humedad. Cubrir el área entre muestreos.

En el laboratorio, enrasar el suelo en los cilindros, pesarlos, secarlos a 105° C enfriarlos y pesarlos de nuevo para determinar peso seco. Seguir el mismo procedimiento con los terrones y con las muestras disturbadas.

Calcular la capacidad de campo y expresarla en términos gravimétricos y volumétricos.

$$\text{Capacidad de campo (\%)} = \frac{M_1 - M_s}{M_s} \times 100 \quad (\text{Términos gravimétricos})$$

$$\text{Densidad aparente (g/cc)} = \frac{M_s}{V_b}$$

$$\text{Capacidad de campo (\%)} = \frac{(M_1 - M_s) D_b}{M_s D_w} \times 100 \quad (\text{Términos volumétricos})$$

en donde:

M_1 = Masa del suelo húmedo (g).

M_s = Masa del suelo seco (g).

V_b = Volumen de la muestra a capacidad de campo (cc)

D_w = Densidad del agua = 1.0 g/cc (con un error de 0.2% a 20° C)

Nota

El volumen de los terrones se puede determinar por el método de la parafina o de saturación con kerosene. El contenido de humedad después de la cobertura con parafina se obtiene quitando la parafina y pesando en húmedo y seco. Si se usa el método del kerosene deben utilizarse terrones separados.

13.9.2. Aproximaciones a Capacidad de Campo

La cantidad de agua retenida por una muestra de suelo previamente saturada y sometida a equilibrio a una conocida succión matricial ha sido usada como una aproximación a capacidad de campo pero referida como capacidad de campo. Tal contenido de humedad no es una conocida capacidad de campo, ya que no contempla las dinámicas del perfil que determinan el contenido de humedad al cual la redistribución prácticamente ha cesado. Los contenidos de humedad de muestras sometidas a -0.1 y -0.3 bares o a otras succiones, están correlacionadas con capacidad de campo solo porque la conductividad capilar está relacionada con estas succiones. Marshall (1959) enfatiza que "ningún método de laboratorio puede ser realmente un sustituto de la medida de la capacidad de campo, la cual es realmente influenciada por muchos factores incluyendo especialmente las propiedades físicas y las condiciones de humedad del perfil del suelo".

Como en el país se ha realizado poca investigación para correlacionar la verdadera capacidad de campo con succiones que la reproduzcan, aún teniendo en cuenta todos los inconvenientes, se pueden usar dos tipos de aproximaciones:

- i. En determinaciones en el campo, medir con tensiómetro la capacidad de campo a las profundidades de interés
- ii. Determinar en el laboratorio la succión o succiones que reproduzcan el contenido de humedad que se obtuvo en la determinación en el campo.

Actualmente, es bastante común encontrar en la literatura que una succión de -100 cm en muestras no disturbadas es una buena aproximación a capacidad de campo. Esta y otras succiones mayores y menores deberían probarse en el país.

13.9.2.1. Equipo

Para muestras no disturbadas (cilíndricas y terrones)

- Equipo de muestreo para toma de muestras no disturbadas.
- Plato de cerámica con columna colgante y control de succión. Alternativamente, platos de succión para drenar en el rango de 0 a 1 bar.
- Material de contacto finamente dividido.
- Balanza, desecador y estufa.

13.9.2.2. Procedimiento

Tomar muestras no disturbadas con el equipo adecuado.

Preparar convenientemente las muestras en el laboratorio, acoplando una tela porosa en el fondo del cilindro.

Poner a saturar las muestras durante 24 horas en bandejas o recipientes adecuados.

Someter las muestras saturadas a una succión de 100 cm o a otras mayores o menores según conveniencia.

Cuando las muestras hayan alcanzado el equilibrio, transferir a cajas metálicas tapadas. Tapar y pesar en húmedo y luego en seco (105^o C).

Determinar el porcentaje de humedad como se describió en el método de campo.

Si se usan terrones, seguir las mismas instrucciones que se dieron en el método de campo para terrones.

Para muestras disturbadas, preparar las muestras molliéndolas y tamizándolas por tamiz de 2 mm. Saturar las muestras en anillos de plástico o de caucho, preferiblemente en el mismo plato que se utilizará para succión.

Drenar las muestras a -1/3 de bar o a otras succiones en el equipo adecuado. Cuando las muestras hayan alcanzado el equilibrio, transferirlas rápidamente a una lata tarada. Evitar la evaporación y pesar en húmedo y luego en seco (105^o C). Calcular el porcentaje de humedad en base gravimétrica. Si se conoce la densidad aparente, se pueden expresar los datos en términos de humedad volumétrica.

13.10. Punto de Marchitez

13.10.1 Principio

Briggs y Shantz (1912) determinaron el contenido de humedad al cual las plantas se marchitaban en más de 100 suelos usando más de 80 especies de plantas, encontrando que las plantas se marchitaban a aproximadamente el mismo contenido de humedad en cualquiera de los suelos. El punto de marchitez fué definido utilizando como planta estándar el girasol sembrando en un pote con el suelo problema y es el contenido de humedad al cual la planta, en cierto estado de su crecimiento, se marchita y no recupera su turgor cuando

es puesta en una cámara oscura y húmeda durante la noche. En este estado se determina el porcentaje de humedad.

La marchitez de una planta en condiciones de campo no depende solamente de la succión y contenido de humedad, sino del potencial de evapotranspiración, de la habilidad de las raíces para ramificar en el suelo y de la conductividad hidráulica del suelo. La marchitez no ocurre a un punto fijo de humedad-succión para una planta bajo todas las condiciones sino a un rango de succión que varía entre 8 y 30 atmósferas o mas.

Richards y Weaver (1943) encontraron que el punto de marchitez relacionaba bien con el contenido de humedad a 15 atmósferas de succión (recientemente 15 atmósferas se han reemplazado por 15 bares) y se acogió esta succión como una medida adecuada a la cual el punto de marchitez se puede decir que ocurre. Por lo tanto el porcentaje de humedad de una muestra equilibrada a 15 bares de succión es una aproximación al punto de marchitez o porcentaje de marchitez permanente.

13.10.2. Aproximaciones al Punto de Marchitez

13.10.2.1. Equipo

- Equipo de molienda y tamizado de suelo.
- Equipo para humedecimiento.
- Equipo de presión para altas presiones (6 - 15 bares) o membrana de presión.
- Balanza, desecador, estufa.

13.10.2.2. Procedimiento

Moler y tamizar (2 mm) la muestra. Vertirla en un anillo de 1 cm de altura y saturarla en plato o membrana de presión. Cuando esté bien saturada someterla a presión de 15 bares en el plato y aparato correspondiente. Cuando haya drenado completamente, apagar el compresor de aire y liberar la presión. Abrir el compresor y transferir la muestra a una lata tarada evitando la evaporación. Pesar en húmedo y luego en seco (105^o C) y determinar el porcentaje de humedad en términos gravimétricos. Si se conoce la densidad aparente expresar los resultados en términos volumétricos.

3.11. Porcentaje de Agregación

13.11.1. Principio

El conocimiento del tipo y grado de desarrollo de la estructura superficial de un suelo aunque de mucha importancia en un suelo dado, no es suficiente para caracterizar estructuralmente el suelo a menos que vaya acompañado de datos sobre su estabilidad estructural. En muchos casos la estabilidad estructural es aún mas importante que el estado estructural, ya que la estabilidad es una característica que cambia continuamente por acción del agua y por el uso de la maquinaria principalmente.

Cualquier disminución en la porosidad superficial causa efectos en la penetración y movimiento posterior del agua y en la aireación. Estos efectos están ligados a la separación de la fracción fina (limo + arcilla) de los agregados y a su posterior movilización y reorientación. La determinación del porcentaje de agregación pretende lograr valores numéricos que sean índices de dicho fenómeno.

13.11.2. Reactivos

- Calón al 10% en agua con carbonato de sodio para llevar el pH a 8.3.

13.11.3. Materiales

- Tamices de 2 y 4 mm de diámetro.
- Pipeta automática de 25 ml de capacidad.
- Agitador mecánico para dispersión física de suelo. El mismo usado en análisis mecánico.
- Cilindro de 1 litro con un diámetro tal que la marca de 1000 ml se halle a 36 ± 2 cm del fondo.
- Termómetro.
- Latas para secado de muestras.

13.11.4. Procedimiento

Utilizando tamices de 2 y 4 mm separar alrededor de 100 g entre 2 y 4 mm de suelo secado al aire. Pesar 30 g de dichos agregados y transferirlos a un cilindro de un litro que contenga previamente 800 mL de agua destilada. Después de haber agregado el suelo, enrasar a 1 L. Dejar reposar el contenido durante 15 minutos y tomar la temperatura. Tapar la boca del cilindro con la palma de la mano y agitar de arriba hacia abajo 10 veces (20 movimientos) durante un minuto. Dejar reposar el cilindro sobre el mesón y al cabo de cierto tiempo (t)

$$t = 41 + (25 - T^{\circ}C)$$

Introducir una pipeta a 10 cm de profundidad y aplicando succión tomar una alícuota de 25 mL de la suspensión. Transferir la muestra a una lata de secado o vidrio de reloj, secar a $105^{\circ}C$ y determinar el peso (a). Este peso representa el de las partículas o agregados con diámetro equivalente inferior a 50 micras.

Otra fracción de 30 g de los agregados entre 2 y 4 mm es dispersado con calgón y agitación mecánica, siguiendo el mismo procedimiento que para análisis de distribución de tamaño de partículas. El material dispersado se coloca en un cilindro, se enrasa a 1 L con agua, se agita y se toma una muestra de 25 mL a 10 cm de profundidad, la cual, siguiendo el mismo procedimiento anterior, se seca a $105^{\circ}C$ obteniéndose un peso (b) que representa el total de partículas con diámetro equivalente menor a 50 micras que se hallan presentes en los agregados. Esta determinación debe hacerse por triplicado.

Cálculos

$$\% \text{ de agregación} = \frac{100 (b - a)}{a}$$

Interpretación

Los valores obtenidos son relativos y sirven solo para comparar diferentes suelos o tratamientos. En general, valores menores del 70% indican débil estabilidad estructural frente al humedecimiento.

3.12 Distribución de Tamaños Estables al Agua

13.12.1 Principio

Cuando la masa del suelo o los terrones formados con las labores de preparación de tierra se desintegran por efecto del agua, el tamaño de los agregados que quedan es un factor determinante del tamaño de los poros, lo cual condiciona a su vez el movimiento y distribución del agua y aire en dicho suelo. Por otro lado, el tamaño de los agregados estables determina también la susceptibilidad de ser arrastrados por agua de escorrentía en terrenos inclinados.

13.12.2. Reactivos

- Calzón al 10% en agua con carbonato de sodio para llevar el pH a 8.3.

13.12.3. Material y Equipo

- Juego de tamices de 2, 1, 0.5, y 0.1 mm de aproximadamente 10 cm de diámetro.
- Soporte para el equipo de los cuatro tamices.
- Recipiente con agua en el cual se pueda mover el soporte con los cuatro tamices, o aparejo con motor que permita mover el juego de tamices dentro del agua 3-5 cm en sentido ascendente y descendente, sin que el nivel superior del agua sobrepase el borde del tamiz de 2 mm, 30-40 veces por minuto. Con un soporte que permita colocar 3 juegos de tamices a la vez, se pueden hacer tres determinaciones en forma simultáneas.
- Latas.
- Estufa.

- Balanza
- Agitador de los usados para análisis mecánico.

13.12.4. Procedimiento

Colocar el juego de tamices en este orden de arriba abajo 2, 1, 0.5 y 0.1 mm en el soporte sumergido en agua, de tal manera del agua llegue exactamente al fondo del tamiz superior de 2 mm.

La posición del soporte debe ser tal que al iniciar los movimientos ascendentes y descendentes, el nivel del agua llegue cerca del borde superior del tamiz de 2 mm sin sobrepasarlo.

Separar del suelo seco al aire, mediante tamizado, unos 200 g de agregados entre 2-4 mm. Pesar 30 g de ellos y secarlos en estufa a 105^o C, volverlos a pesar enseguida (a). Colocar otros 30 g de agregados secos al aire, esparciéndolos cuidadosa y uniformemente, sobre el tamiz de 2 mm. No debe moverse o redistribuir los agregados una vez colocados sobre el tamiz. Dejar que se humedezcan por capilaridad durante 30 minutos. Al cabo de ese tiempo iniciar el agitado dentro del agua, con movimientos ascendentes y descendentes de 3-5 cm, 30-40 veces por minuto.

Dicha agitación se prolonga por 20 minutos. Transcurrido esto se saca cuidadosamente el juego de tamices, y se separan uno de otro. El suelo que queda en cada tamiz es recogido en una lata, aplicando agua a presión con una pipeta por la parte posterior del tamiz. Se deja sedimentar por media hora y succionando con una pera se remueve parte del agua que sobrenada, antes de colocar la lata a secar a 105^o C en la estufa. Una vez seco se pesa el suelo recogido en cada lata b (2-4 mm); b (1-2 mm); b (0.5-1 mm); y b (0.1-0.5 mm) el cual representa los agregados y partículas de arena con diámetros comprendidos entre 2-4 mm (tamiz de 2 mm); 1-2 mm (tamiz de 1 mm); 0.5 - 1 mm (tamiz de 0.5 mm) y 0.1-0.5 mm (tamiz de 0.1mm).

Después de pesar se agregan unos 100 mL de agua y 10 mL de solución de Calgón al 10% a cada lata, se deja reposar por unos 15 minutos y se transfiere el contenido al frasco de agitación, donde se agita la suspensión por unos 10 minutos usando el agitador de análisis mecánico. Una vez cumplida la agitación por el mismo tamiz en el cual quedó retenido el suelo, aplicando agua a presión con una pipeta para remover todas las

partículas con diámetro inferior al de los huecos del tamiz. Lo que queda en cada tamiz se recoge en una lata, se seca a 105⁰ C y se pesa c (2-4 mm); c (1-2 mm), c (0.5-1 mm); y c (0.1-0.5 mm). Estos representan las partículas de arena con diámetro comprendidos entre 2 y 4 mm; 1-2 mm; 0.5 -1mm; y 0.1-0.5 mm; retenidas en cada tamiz. Así respetando los valores de (b) los correspondientes valores de (c) se obtienen los pesos de agregados estables en cada fracción, d (2-4 mm), d (1-2 mm), d (0.5-2mm) y d (0.1-0.05 mm).

Estas determinaciones deben hacerse por triplicado.

Cálculos

Intervalo	Diámetro medio
2 - 4 mm	3 mm
1 - 2 mm	1.5 mm
0.5 - 1 mm	0.75 mm
0.1 - 0.5 mm	0.30 mm

Diámetro medio ponderado de agregados estables al agua

$$DMP = \frac{3d(2-4) + 1.5 d(1-2) + 0.75 d(0.5-1 \text{ mm}) + 0.30 d(0.1-0.5 \text{ mm})}{b(2-4 \text{ mm}) + b(1-2 \text{ mm}) + b(0.5-1 \text{ mm}) + b(0.1-0.5 \text{ mm})}$$

Agregados de 2-4 mm estables al agua en % (% AE 2-4 mm) =

$$d(2-4 \text{ mm}) / a - c(2-4 \text{ mm})$$

$$\% AE > 1 \text{ mm} = \frac{d(2-4 \text{ mm}) + d(1-2 \text{ mm})}{a - c(2-4 \text{ mm}) + c(1-2 \text{ mm})}$$

$$\% AE > 0.5 \text{ mm} = \frac{d(2-4\text{mm}) + d(1-2\text{mm}) + d(0.5-1\text{mm})}{a - c(2-4\text{mm}) + c(1-2\text{mm}) + c(0.5-1\text{mm})}$$

$$\% AE > 0.1 \text{ mm} = \frac{d(2-4\text{mm}) + d(1-2\text{mm}) + d(0.5-1\text{mm}) + d(0.1-0.5\text{mm})}{a - c(2-4\text{mm}) + c(1-2\text{mm}) + c(0.5-1\text{mm}) + c(0.1-0.5\text{mm})}$$

Interpretación

Cuando se están comparando diferentes situaciones y tratamientos dentro de un mismo suelo, obviamente valores mas bajos de DMP o de % AE en los diámetros mayores, señalan un deterioro en la estabilidad estructural. Sin embargo, este método se usa mas para comparar diferentes suelos. Dentro de los tamaños utilizados en el procedimiento, se consideraría con situación mas favorable un suelo con valores mas altos de DMP, especialmente si están por encima de 0.5 mm o con valores mas elevados de % de diámetro superior a 1 mm. Desde el punto de vista de susceptibilidad a pérdidas de suelo por erosión, ésta será menor cuanto mayor sea el % de diámetro > 2 mm.

13.13. Referencias

1. Amézquita, C. E. 1981. A study of the water regime of a soil during approach to field capacity and permanent wilting point. University of Reading, England. Ph. D. Thesis.
2. Archer, J. R. and M. J. Marks. s. f. Techniques of measuring soil physical parameters. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. ADAS. Advisery papers No. 18. London.
3. Avery B. W. and C. L. Bascom. Soil survey laboratory methods. Rothamsted Experimental Station. Tech. monograph. No. 6. Harpenden. England. pp. 42-56.
4. Black, G. R. 1965. Bulk density. In C. A. Black (ed). Methods of soil analysis. Part 1. Agronomy series No 9. pp. 374-390.

5. Boyucos, G.J. 1927 The hydrometer as a new method for the mechanical analysis of soils. *Soil Sci.* 23:343-352
6. Boyucos, G.J. 1951. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal.* 43:434-438.
7. Brasher, B. R., D. P. Franzmeier, V. Valasis and S. E. Davison. 1966. Use of soren resin to coat natural soil clods for bulk density and water retention measurements. *Soil Sci.* 201:108
8. Briggs, L. J. and H. L. Shantz. 1912. The wilting coefficient for different plants and its indirect determination. *USD. Agric. Bureau. Plant Ind. Bull.* 230.
9. Colman, E. A. 1944. The dependence of field capacity upon the depth of wetting of field upon the depth of wetting of field soils. *Soil Sci.* 58:43-50.
10. Colman, E. A. 1957. A laboratory procedure for determining the field capacity of soils. *Soil Sci.* 63:277-283.
11. Day, P. R. 1950. Physical basis of particle size analysis by the hydrometer method. *Soil Sci.* 70:363-374.
12. Day, P. R. 1956. Report of the committee of physical analysis. 1954-1955. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 20:167-169.
13. Day, P. R. 1965. Particle fractionation and particle-size analysis. In C. A. Balck (ed.). *Methods of soil analysis. Part 1. Agronomy Series No 9* pp 545-566.
14. De Boodt, M., L De Leenherr and D Kirkham. 1961. Soil aggregate stability and crop yields. *Soil Sci.* 91:138-146.
15. Edwards, A. P. and J. M. Bremner. 1967. Dispersion of soil particles by sonic vibration. *J. Soil Sci.* 18:47-63.

16. España, Ministerio de Agricultura. 1974. Métodos oficiales de análisis de suelos y aguas. Madrid. pp. 102-109.
17. Forsythe, A. M. 1980. Manual de laboratorio de física de suelos. IICA. pp. 97-117.
18. Grable, A.R. 1966. Soil aeration and plant growth. Adv. in Agron. 18: 57-106.
19. Greenland, D. J. 1979. Structural organization of soils and crop production. In: R. Lal, and D. J. Greenland (ed). Soil physical properties and crop production in the tropics. John Wiley and sons, New York. pp.47-56.
20. Hanks, R. J., W. E. Holmes and C. B. Tanner. 1954. Field capacity approximation based on the moisture-transmission properties of the soil. Proc. Soil Sci. Amer. 18: 252-254.
21. Hutton, J. T. 1965. A method of particle size análisis of soils. CSIRO. Aust. Div. Soil Report No. 11/15.
22. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1979. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Bogotá, 4a ed. pp.516-524.
23. Kemper, W. D. 1965. Aggregate stability. In: C. A. Black (ed.). Methods of soil analysis. Part 1. Agronomy series No. 9. pp.511-519.
24. Marshall, T. J. 1959. Relations between water and soil. Common wealth Agricultural Bureaux, Tech. Commun. No. 50 England.
25. McIntire, D. S. 1974. Water retention and moisture characteristics. In: Loveday (ed). Methods for analysis of irrigated soils. Commonwealth Agricultural Bureaux. Tech. Commun. No 54. England. pp 43-62.

26. McIntire, D. S. and J. Loveday. 1968. Problems of determination of soil density and moisture properties from natural clods. *Soil Sci.* 105:232-236.
27. McIntire, D. S. and J. Loveday. 1974. Bulk density. In J. Loveday (ed). *Methods for analysis of irrigated soils*. Technical communication No 54. C. A. B. England. pp. 38-42.
28. McIntyre, D. S. 1974. Pore-space and aeration determinations. In: J. Loveday (ed). *Methods for analysis of irrigated soils*. Technical communication No. 54. C.A.B. England. pp. 67-74.
29. Peters, D. B. 1965. Water availability. In: C. A. Black (ed). *Methods of Soil Analysis*. Part 1. Agronomy Series No. 9 p 279-285.
30. Pla, I. 1977. *Dinámica de las propiedades físicas y su relación con problemas de manejo y conservación de suelos agrícolas de Venezuela*. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía, Maracay.
31. Reeve, R. y Skjemstad, J. 1972. Methods, pretreatment and dispersion of soils for particle size analysis. CSIRO. Aust. Div. Soils Tech. Memo No. 57.
32. Rich, C. I. 1971. *Glossary of Soil Science terms*. Soil Sci. Soc. of Amer. Madison.
33. Richards, L. A. and L.R. Weaver. 1943. Fifteen-atmosphere percentage as related to the permanent wilting percentage. *Soil Sci.* 56:331-340.
34. Richards, L. A. 1947. Pressure-Membrane apparatus, construction and use. *Agric. Eng., St. Joseph Mich.* 451-454.
35. Richards, L. A. 1955. Water content changes following wetting of bare soil in the field. *Soil Sci. Soc. Florida Proc.* 15:142-148.

36. Richards, L. A. 1972. Diagnosis and improvement of saline and alkaly soils. U. S. Depart. Agric. Handbook 60.
37. Salter, P. J. and F. Heworth. 1961. The available water capacity of a sandy loam soil. I. A critical comparison of methods of determining the moisture content of soil at field capacity and permanent wilting percentage. J. Soil Sci. 12:326-334.
38. Smith, P. D. and A. J. Thomasson. 1974. Density and water release characteristics. In: Methods of Soil analysis. Part. 1. Agronomy Series No. 9. pp. 545-566.
39. Stakaman, W. P., G. A. Walk and G. G. Vander Heerts. 1969. Determination of moisture retention curves. I Sand box apparatus. 3rd. ed. Institute for Land and Water Management Research. Wageningen, Netherlands.
40. Veimeyer, F. J. and A. H. 1949. Methods of measuring field capacity and permanent wilting percentage of soils. Soil Sci. 68:75-95.
41. Vomocil, J. A. 1965. Porosity. In: Black (ed). Methods of soil analysis. Part 1. Agronomy series No. 9. pp. 299-300.
42. Williams, B. G., D. J. Greenland, G.R. Lindstrom and J. P. Quirk. 1966. Techniques for the determination of the stability of soils aggregates. Soil Sci. 101:157-163.