

Métodos para determinar granulometría y densidad aparente del suelo

Methods for determining granulometry and bulk density of the soil

Donald Gabriels¹ y Deyanira Lobo L.²

¹Universidad de Gante, Bélgica; ²Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía
donald.gabriels@ugent.be , lobod@agr.ucv.ve

RESUMEN

La granulometría del suelo es un parámetro La granulometría es una propiedad del suelo íntimamente relacionada con el comportamiento del mismo, ya que tiene especial influencia sobre la aireación, retención y movimiento de agua, retención y disponibilidad de nutrientes, trabajabilidad y erosionabilidad del mismo. Por otra parte, la densidad aparente se ha utilizado para caracterizar la condición de la estructura del suelo y como indicadora de la compactación del mismo. En el presente trabajo se describen diferentes métodos

ABSTRACT

The size distribution of soil particles affects diverse soil properties and soil processes such as aeration, water retention and movement, nutrient retention and availability, soil workability, and erodibility. On the other hand, the bulk density of the soil is commonly used to characterize the soil structure and as an indicator of soil compaction. In this work, different methods are described to evaluate the particle size distribution for different purposes. Also some techniques are described to determine the soil bulk density for different sample sizes, soil

para evaluar la granulometría de los suelos en función de los propósitos de la determinación. De igual manera se describen algunas técnicas para determinar la densidad aparente del suelo de acuerdo al tamaño de la muestra, tipo de suelo y disponibilidad de equipos.

Palabras clave: distribución de tamaño de partículas, textura, estructura, tamaño de muestras, agregados.

types, and equipment availability.

Key words: particle size distribution, texture, structure, sample size, aggregates.

INTRODUCCIÓN

La fase sólida del suelo está compuesta de partículas minerales y orgánicas de diferentes formas y tamaños, y provienen, en general, de la desintegración (meteorización) de las rocas y de la descomposición de los residuos vegetales. La forma espacial en que se encuentran las partículas minerales y orgánicas determina en gran parte las propiedades físicas del suelo, tales como la estructura, la porosidad, la densidad aparente y la permeabilidad.

La fase sólida puede estar dispersada en partículas individuales pero principalmente, y en la mayoría de las situaciones, en forma de agregados cuando las partículas están unidas con otras, constituyendo la matriz o esqueleto del suelo.

Aunque la distribución de las partículas en formas individuales (llamada granulometría o textura) no es una situación muy general en el suelo, ella se utiliza como un indicador descriptivo de la matriz o esqueleto del suelo.

El término 'textura' se usa para representar el contenido de partículas individuales de los minerales del suelo, es decir, la composición proporcional de partículas de arena, limo y arcilla. En este término se excluyen las partículas con diámetro equivalente mayor de 2 mm., las cuales se conocen como 'fragmentos de roca' o agregados del suelo, y son utilizadas como modificadores de la textura, cuando estas representan más del 15 % del volumen de suelo. Existen diferentes sistemas de clasificación de las partículas minerales del suelo, así como diferentes métodos para su determinación.

La 'distribución de tamaño de partículas' se refiere a la distribución porcentual de los diferentes tamaños de partículas presentes en el suelo, es decir la granulometría.

Los términos granulometría y textura se utilizan a menudo como sinónimos; no obstante, el término textura se utiliza más frecuentemente para describir, la sensación que resulta de deslizar entre los dedos una muestra húmeda de suelo (textura al tacto) y su uso es muy común a nivel de campo como un primer diagnóstico del suelo, mientras que el análisis granulométrico es una prueba de laboratorio (Porta et al, 1999)

El término 'densidad aparente' se relaciona directamente con la composición mecánica, el contenido de materia orgánica, el contenido de fragmentos de roca y la estructura del suelo y está representada por la masa que contiene un suelo por unidad de volumen, conservando su agregación natural; es decir, incluyendo su espacio poroso. La densidad aparente refleja el contenido total de poros en un suelo y es importante para el manejo de los suelos, ya que refleja la compactación y facilidad de circulación de agua y aire, además permite hacer inferencias sobre las posibilidades de emergencia y enraizamiento de las plantas. Para su evaluación se utilizan también diferentes métodos.

Clasificación de las partículas minerales del suelo

Se han desarrollado diferentes sistemas de clasificación de las partículas minerales del suelo con diámetro equivalente menor de 2 mm, las cuales son consideradas como 'tierra fina' o 'material fino'. Dos de los sistemas más ampliamente usados se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Sistemas de clasificación de las partículas minerales del suelo.

		USDA	IUSS
		μm (micrómetros)	μm (micrómetros)
Arena	muy gruesa	2000-1000	-
	gruesa	1000-500	2000-200
	media	500-250	-
	finas	250-100	20-200
	muy fina	100-50	-
Limo		50-2	20-2
Arcilla		< 2	< 2

Por otra parte, el término fracción gruesa del suelo engloba a las partículas mayores de 2 mm de diámetro equivalente y cuando esta fracción representa más del 40% del volumen de un suelo, este es definido por muchos autores como pedregoso o esquelético (Fernández, 1999). Sin embargo, existen diferencias sustanciales en los diversos sistemas de clasificación de fragmentos gruesos que se conocen para la definición del diámetro mínimo que debe tener una partícula para denominarla piedra, siendo el diámetro medio de 20mm.

Poesen y Lavee (1994), sugieren utilizar el término “fragmento de roca” en lugar de “piedra” ya que este último ha sido usado con referencia a un tamaño particular de fragmento de roca con límite de clase, dependiendo del sistema de clasificación utilizado. Existen diferencias sustanciales en los diversos sistemas de clasificación de fragmentos gruesos que se conocen actualmente, tal como lo muestran los autores, quienes presentan una comparación de los sistemas de clasificación de los fragmentos de roca por tamaños y forma, sin que haya coincidencia o equivalencia entre los mismos propuestos.

Uno de los sistemas mas usado es el del Manual de Estudios de Suelos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (Soil Survey Division Staff, 1995) que se presenta en el cuadro 2.

Cuadro 2. Clasificación de los fragmento de roca (> 2 mm)

Forma y tamaño		
Fragmentos de roca irregulares, cubos angulares o subangulares, equiaxiales		
	2 – 5	Grava fina
	5 – 20	Grava media
Diámetro (mm)	20 – 75	Grava gruesa
	75 – 250	Guijarro
	250 – 600	Piedra
	> 600	Canto rodado
Fragmentos planos		
	2 – 150	Esquisto
Longitud (mm)	150 – 380	Laja
	380 – 600	Piedra
	> 600	Canto rodado

Porqué determinar la textura?

La textura es una de las propiedades más permanentes del suelo; no obstante puede sufrir cambios por laboreo (mezcla de horizontes), erosión eólica (suelos más gruesos por pérdida de material), erosión hídrica (deposición de materiales más finos), etc. Es el elemento que mejor caracteriza al suelo desde el punto de vista físico. La permeabilidad, la consistencia, la capacidad de intercambio de iones, de retención hídrica, distribución de poros, infiltración y estructura, son algunas de las características del suelo que en gran medida dependen de ella.

La utilidad de conocer la textura de un suelo consiste en que permite hacer una deducción aproximada de las propiedades del suelo para ajustar las prácticas de manejo y fertilización de éste. La mayoría de las propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo depende indirectamente de la textura, pero directamente de su superficie específica, mas que del tipo de minerales presentes; muchas de las reacciones y procesos se producen en las superficies de las partículas.

Entre las aplicaciones directas de la textura, se pueden citar:

En la descripción y reconocimiento de suelos, como una de las características fundamentales en morfología de perfil (diferenciación de horizontes, discontinuidades litológicas)

En la taxonomía de suelos, como uno de los criterios para identificar horizontes diagnóstico y separar órdenes de suelo, así como para diferenciar familias de suelos

En hidrología, para definir constantes hídricas, tasa de infiltración o conductividad hidráulica.

En manejo de suelos para definir riesgos de erosión, problemas de drenaje, tipo de labranzas, capacidad de admitir aguas residuales contaminadas, para establecer dosis de fertilizantes, abonos y enmiendas.

Determinación de la granulometría de los suelos.

Antes de seleccionar el método de determinación es importante tener claro la finalidad de tal determinación. Dentro de los métodos mas usados se pueden mencionar: textura al tacto, tamizado (en seco y en húmedo), sedimentación (método de la pipeta, método del hidrómetro), uso del microscopio electrónico, turbidimetría; cada uno de ellos con sus variantes.

La determinación de la textura al tacto engloba todas las propiedades que las partículas confieren al suelo; para ello puede utilizarse el diagrama de flujo propuesto por Thien (1979).

Los métodos de la pipeta e hidrómetro son considerados como procedimientos estándar para la determinación de la distribución de tamaño de partículas de la fracción fina del suelo (> 2 mm) (Day, 1965; Gee y Bauder, 1986, Gee y Or, 2002)

El Método del Hidrómetro, debido a la simplicidad y mínimo costo en materiales, es comúnmente usado para determinar los tamaños de partículas de la fracción fina del suelo (< 50 μm , para el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [USDA], y 75 μm para la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales, ASTM). Los dos métodos más usados son el propuesto por la ASTM (ASTM, 2000) y el publicado por la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (Gee y Or, 2002). Es una técnica sencilla, ya que la muestra no requiere pre-tratamientos. El hidrómetro mide la densidad del medio, que varía directamente con la cantidad de partículas presentes en la suspensión. Tiene una dispersión química con hexametáfosfato de sodio y una dispersión física mediante agitación mecánica. La principal diferencia entre los dos métodos es la corrección por temperatura, ya que con el ASTM se confía en una corrección empírica, y el descrito por Gee y Or (2002) utiliza una corrección haciendo una lectura del blanco.

El Método de la Pipeta se utiliza más en trabajos de génesis e investigación. En lugar de introducir el hidrómetro, a la profundidad considerada y tiempo preestablecido se toma una muestra del agua con sólidos en suspensión, secándose a estufa y pesando la cantidad de material.

Uno de los conflictos para la selección del procedimiento para realizar el análisis mecánico es la selección de los pre-tratamientos y los agentes dispersantes, considerando su efecto en los agentes cementantes naturales, ya que esto depende del interés o propósito de la determinación. Así, la determinación de la distribución de tamaño de partículas tiene especial importancia en el estudio de la morfología, la génesis y la clasificación de los suelos (Buol et al., 1971), por lo que el método recomendado es el de la pipeta (U.S.D.A. Soil Conservation Service, 1992).

Sin embargo, en el área de la Física de Suelos hay una inclinación a utilizar el método del hidrómetro de Bouyoucos modificado (Gee y Or, 2002), ya que la distribución de tamaño de partículas resultante del procedimiento de la pipeta, que implica la eliminación de agentes cementantes, como carbonato de calcio, materia orgánica y sesquióxidos de hierro y aluminio, supone un comportamiento de las partículas diferente al que ocurre en la naturaleza (Baver, 1966), por lo que la interpretación debe ser muy cuidadosa.

El método de la pipeta mide el porcentaje en peso de cada tamaño de partícula que se encuentra en una suspensión suelo/agua, después de la destrucción de la materia orgánica y de los agregados, así como la dispersión de las partículas de arcilla. Se asume que todas las partículas son esféricas y tienen la misma gravedad específica. La suspensión es estabilizada bajo condiciones claramente definidas y las partículas son separadas por sedimentación ($<50\mu\text{m}$) y por tamizado ($50\mu\text{m} - 2000\mu\text{m}$).

Para esto se sugieren los siguientes pre-tratamientos:

- Destrucción de materia orgánica, en suelos cuyo contenido es mayor de 10 %, mediante tratamiento con H_2O_2 al 30 %.
- Destrucción de carbonatos en suelos calcáreos, mediante lavado con acetato de sodio 1M a pH 5.
- Remoción de sesquióxidos y cementos órgano-minerales amorfos en suelos ricos en estos materiales, utilizando tratamiento con citrato-bicarbonato de sodio
- Remoción de sales por lavado después de la destrucción de materia orgánica, en suelos salinos libres de yeso, cuando la conductividad eléctrica del extracto acuoso de una relación suelo:agua es mayor de $1\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$
- Remoción de yeso (cuando su contenido es menor de 10%) es suelos yesosos
- Tratamientos con ultrasonido y dispersión en medio ácido en Andosoles

El método del hidrómetro usa la densidad de la suspensión suelo/agua y no requiere de pre-tratamientos. No obstante, en ambos procedimientos, para que un análisis de tamaño de partículas sea satisfactorio la muestra de suelo debe estar completamente dispersada.

La dispersión del suelo puede ser completada usando la combinación de medios químicos y físicos. La dispersión química en los procedimientos del hidrómetro y la pipeta se realiza utilizando hexametáfosfato de sodio, conocido como metafosfato de sodio. La función del hexametáfosfato de sodio es acomplejar el Ca en solución y reemplazarlo por el sodio en el complejo de intercambio, dando como resultado la dispersión de las partículas y provocando el rompimiento de los agregados (Gee y Bauder, 1986)

La agitación mecánica utilizada en conjunto con el tratamiento químico mejora la dispersión. Después de la dispersión, se usa el tamizado y/o la sedimentación para el fraccionamiento de las partículas de cada clase de tamaño. (Gee y Bauder, 1986).

En ambos métodos, la separación de los grupos de partículas se fundamenta en la distinta velocidad de caída que tienen las partículas en un fluido (columna de agua), es decir, en su velocidad de sedimentación, basada en la Ley de Stokes que señala que El tiempo requerido (t) por una partícula de diámetro (d) para sedimentar a una distancia (h) bajando a una velocidad (v), depende de la densidad de la partícula (g_s), la densidad del líquido (g) y la viscosidad del líquido (η).

cuando una partícula sólida esférica de radio r y densidad γ_s se mueve a través de un líquido viscoso, con γ_l la densidad del líquido, la fuerza estática neta F_s que actúa hacia abajo es:

$$F_s = 4/3\pi * r^3 * (\gamma_s - \gamma_l)$$

La fuerza de arrastre sobre la partícula esférica, bajo condiciones laminares, fue mostrada por Stokes como:

$$F_d = -6 * \pi * \eta * r * v_t$$

Donde η es la viscosidad del líquido, v_t es la velocidad Terminal de la partícula. El signo menos (-) indica que la F_d es directamente opuesta a v_t y también opuesta a F_s .

La suma de fuerzas de fuerzas es cero cuando la velocidad de sedimentación ha alcanzado el valor para el cual:

$$F_s + F_d = 4/3\pi * r^3 * g * (\gamma_s - \gamma_l) - 6\pi * \eta * r * v_t = 0$$

Por lo tanto:
$$v_t = \frac{2 * g * r^3 * (\gamma_s - \gamma_l)}{9 * \eta}$$

Problema: Se puede aplicar la Ley de Stokes en el método de sedimentación?

Respuesta: La Ley de Stokes es válida para $Re < 0.1$

$$\text{Combinación de } Re = \frac{2 * g * v * \gamma_l}{\eta} \quad \text{y} \quad v = \frac{2 * g * r^3 * (\gamma_s - \gamma_l)}{9 * \eta} \quad \text{da:}$$

$$r^3 = \frac{9 * Re * \eta^2}{4 * g * \gamma_l * (\gamma_s - \gamma_l)}$$

$$A 20^\circ C \quad r^3 = \frac{9 * 0.1 * (10^{-3} Pa * s)^2}{4 * 10 N kg^{-1} * 10^3 kg * m^{-3} * (2.65 - 1) 10^3 kg * m^{-3}}$$

$$o \quad r^3 = 1.36 \times 10^{-14} m^3$$

$$o \quad r = 2.39 \times 10^{-5} m = 24 \mu m \quad \text{o} \quad d \approx 50 \mu m$$

El máximo diámetro de partícula que puede ser usado con la Ley de Stokes es alrededor de 50 μm . Este es el mismo tamaño de grano usado en el método de sedimentación.

En el método del hidrómetro las lecturas del mismo permiten calcular el diámetro medio de las partículas y el porcentaje de las mismas. Con estos valores se construye la curva de tamaños de partículas para su posterior fraccionamiento en clases, tal como se presenta en el ejemplo de la figura 1.

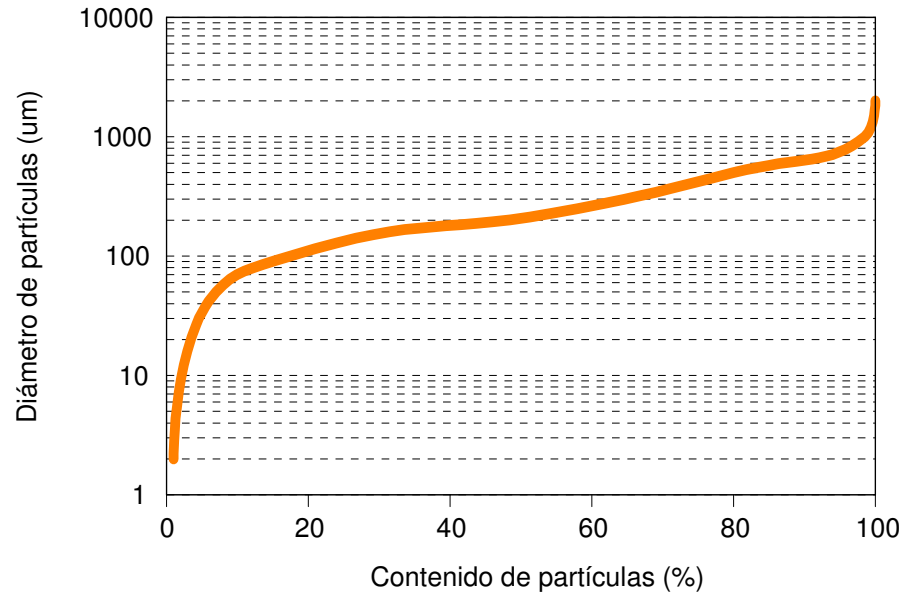


Figura 1. Curva de distribución de tamaños de partículas

Siguiendo cualquiera de los procedimientos, pipeta o hidrómetro, al final se obtienen las diferentes proporciones correspondientes a las distintas clases de partículas, ya sea por peso (método de la pipeta) o por densidad y peso (método del hidrómetro)

La combinación de 3 fracciones del suelo: arena (partículas entre 50 y 2000 µm), limo (partículas entre 2 y 50 µm) y arcilla (partículas < 2 µm), va a determinar una clase textural.

Las clases texturales son agrupamientos donde las propiedades dependientes de la textura presentan un comportamiento homogéneo (propiedades agronómicas homogéneas). Normalmente nos indica al grupo de partículas preponderantes. Las clases texturales dentro del sistema del USDA son 12 y se disponen en un triángulo de textura, como se observa en la figura 2.

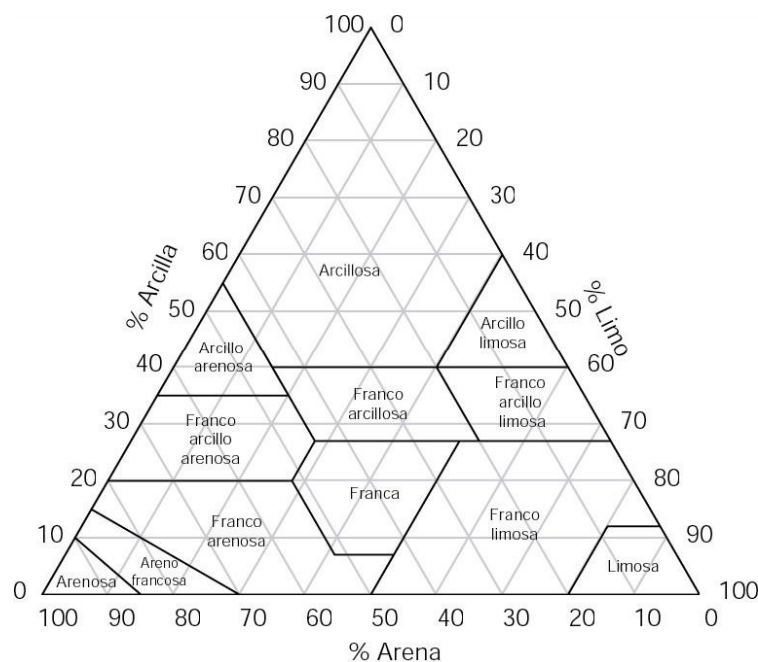


Figura 2. Triángulo textural

A este triángulo se entra con los porcentajes de las fracciones granulométricas aportados por el análisis mecánico o análisis de textura, de la manera como se señala en la figura 2. Así, un suelo que contenga 30 % de arena, 40% de limo y 30 % de arcilla, tendrá una textura Franco arcillosa.

Para la designación de la clase textural también puede utilizarse los rangos que se presentan en el cuadro 3.

Cuadro 3. Clases texturales según el contenido de arena, limo y arcilla

Clase Textural	Rango (%) en el contenido de		
	Arena	Limo	Arcilla
Arenosa (a)	100 – 85	15 – 0	10 – 0
Arenosa francosa (aF)	90 – 70	30 – 0	15 – 0
Franco arenosa (Fa)	85 – 43	50 – 0	20 – 0
Franca (F)	52 – 23	50 – 32	27 – 7
Franco limosa (FL)	50 – 0	87 – 50	27 – 0
Limosa (L)	20 – 0	100 – 80	12 – 0
Franco arcillo arenosa (FAa)	80 – 45	28 – 0	35 – 20
Franco arcillosa (FA)	45 – 20	53 – 15	40 – 27
Franco arcillo limosa (FAL)	20 – 0	73 – 40	40 – 27
Arcillo arenosa (Aa)	67 – 45	20 – 0	55 – 35
Arcillo limosa (AL)	20 – 0	60 – 40	60 – 40
Arcillosa (A)	45 – 0	40 – 0	100 – 40

Fuente: Jaramillo, 2002

Métodos para determinar la densidad aparente del suelo

La densidad aparente (ρ_a) expresa la relación de la masa de suelos seca (partículas minerales y materia orgánica) por unidad de volumen total (V_t) (volumen ocupado por los sólidos y volumen ocupado por poros).

La densidad aparente varía mucho dependiendo de la condición estructural del suelo, es por ello que es usada a menudo como un índice de condición estructural y por lo general se encuentra expresada en $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (Blake y Hartge, 1986; Grossman y Reinsch, 2002; Lampurlanés y Reinsch, 2003).

$$\rho_a = \frac{M_s}{V_t} = \frac{M_s}{V_s + V_w + V_a}$$

La determinación de la densidad aparente podría considerarse como fundamental por la relación de esta con características naturales del suelo como textura, materia orgánica, estructura (Cassel, 1982; Chen et al., 1998), y contenido de fragmentos de roca (Franzen et al., 1994), así como con otras propiedades presentes en el suelo, como la velocidad de infiltración, aireación, resistencia a la penetración y la retención de agua; también es importante porque puede ser utilizada en las estimaciones de la lámina de riego, o para calcular la porosidad total cuando se conocen la densidad de las partículas. De igual manera se puede utilizar para estimar el grado de compactación de un suelo, o comparar diferentes prácticas de manejo (Ehlers et al., 1983; Gregory, 1994).

La determinación de la densidad aparente del suelo está basada en dos mediciones: (1) la masa de suelo seco (M_s) de una muestra y (2) el volumen total (V_t) que ocupa la muestra. La masa de suelo seco es medida después de secar la muestra a $110 \pm 5^\circ\text{C}$, hasta alcanzar peso constante.

Existen diferentes métodos que permiten la determinación de la densidad aparente, descritos por Blake y Hartge (1986), cuyas variaciones están relacionadas con el tamaño de la muestra y la manera de coleccionar la misma y medir su volumen. Entre los que se pueden mencionar:

- Método del terrón parafinado
- El método del cilindro
- El método del hoyo en el campo o de excavación o de bolsa de plástico.
- Método de la arena.
- Método de rayos γ

Método del terrón parafinado

La densidad aparente del suelo puede ser determinada mediante el recubrimiento del terrón, de peso conocido, con una sustancia repelente al agua (por ejemplo, parafina de densidad conocida), pesándolo de nuevo para luego ser sumergido en un envase de volumen conocido conteniendo un líquido de densidad conocida, utilizando el 'principio de Arquímedes'. Este método es aplicado comúnmente por pedólogos y paleopedólogos (Blake y Hartge, 1986).

Sin embargo, algunos investigadores en las últimas décadas proponen este método, entre otros, para evaluar la densidad aparente de los agregados, ya que las propiedades de los agregados son usualmente diferentes a las propiedades del suelo, señalando su importancia en la estimación de la porosidad intraagregados. (Horn, 1990).

Esto plantea el interés en métodos para determinar la densidad de los agregados del suelo

Método del Cilindro.

Mediante este método se toma una muestra cilíndrica de suelo, introduciendo un tomamuestras metálico a la profundidad deseada con el propósito de obtener una muestra de suelo de volumen conocido (V_i), tal como se encuentra en el campo (no disturbada). Esta muestra es secada para obtener la masa de suelo seco (M_s) (Blake y Hartge, 1986; Lampulanés y Cantero, 2002) (Figura 3)

Los cilindros usados más comúnmente son:

Cilindros Uhland: cilindros de acero inoxidable de 7 cm de alto, 7 cm de diámetro y un volumen de 270 cm³, que son colocados dentro de una estructura metálica con el objeto de ser introducidos en el suelo, la cual recibe el impacto de un peso de 4,5 kg desde una altura de 50 cm, el cual se considera suficiente para promover la penetración del cilindro dentro del suelo (Uhland, 1949)

Cilindros de Kopecky: son cilindros de acero inoxidable, con un diámetro de 4.8 cm, 3 cm de alto y un volumen de 55 cm³, que se introducen directamente en el suelo haciendo presión con un martillo de hierro cubierto de caucho, de aproximadamente 1.2 kg de peso.

También existen estos cilindros con dimensiones de 5 cm de alto, 5,3 cm de diámetro y un volumen de 100 cm³.



Figura 3. Toma de muestras no alteradas mediante el uso de cilindros.

Cilindros Soil Moisture, modelo 200^a, los cuales tienen 5,2 cm de diámetro, 6 cm de alto y un volumen de 127,5 cm³, que reciben el impacto de un peso de 2,5 kg desde una altura de 30 cm.

Estos cilindros tienen la ventaja que pueden ser usados además para realizar otras evaluaciones, como: porosidad total y distribución de tamaños de poros, usando la mesa de tensión; así como la determinación de la conductividad hidráulica saturada, utilizando un permeámetro de carga constante, o para determinar el módulo de ruptura.

Algunas limitaciones de esta técnica están asociadas con las dificultades para el muestreo, tales como la presencia de fragmentos de roca y la posibilidad de alterar la estructura durante el proceso de muestreo.

Método del hoyo o de la excavación

La densidad aparente es determinada mediante la excavación de un hoyo en el suelo, extrayendo y pesando la cantidad de suelo que ocupaba el hoyo para obtener la masa de suelo, y midiendo el volumen del hoyo o excavación, el cual representaría el volumen de suelo (V_t) (Blake y Hartge 1986)

El volumen de suelo puede ser determinado de diferentes maneras:

- Usando arena con volumen por unidad de masa conocido para llenar el hoyo, y midiendo la masa total de la arena necesaria para llenarlo se puede determinar el volumen.
- Colocando un plástico dentro del hoyo y llenando con agua hasta el borde del mismo, lo cual representa el volumen de suelo. (Figura 4)

Este método tiene la ventaja de abarca mayor volumen de suelo y puede ser usado para suelos heterogéneos, con grietas, o con fragmentos de roca.



Figura 4. Determinación de la densidad aparente por el método del hoyo o excavación

Cuando se utiliza el método del hoyo para determinar la densidad aparente de suelos con fragmentos de roca, el cálculo de esta puede realizarse utilizando las ecuaciones propuestas por Flint y Childs, (1984)

Densidad aparente de la fracción fina

$$BD < 2 = \frac{(1 - R_m)}{(1 - R_v)} * BD_t$$

Densidad aparente de la fracción fina

$$BD > 2 = \frac{(BD_t - BD < 2)}{(R_v)} + BD < 2$$

donde:

BD<2: densidad aparente de la fracción fina

Rm: fracción de fragmentos de roca por peso

Rv: fracción de fragmento de roca por volumen

BDt: densidad aparente total

CONCLUSIONES

La selección del método para determinar la distribución de tamaño de partículas de los suelos y la escogencia de pre-tratamientos de las muestras o las técnicas de dispersión, estarán en función del propósito de la determinación, sea para la caracterización y diagnóstico de limitaciones físicas, o con fines de clasificación de suelos.

La determinación de la densidad aparente de los suelo va a estar en función del tamaño de la muestra requerida en el estudio, el equipo disponible, el tipo de suelo y las dificultades operacionales para la toma de la muestra y la determinación del volumen de suelo.

LITERATURA CITADA

- American Society for Testing and Materials.** 2000. Standard test method for particle-size analysis of soils. ASTM, Philadelphia, PA. 2000 Annual Book of ASTM Standards 04(8):10-17.
- Baver, L.D.** 1966. Soil Physics. John Wiley, NY. 498p.
- Blake, G.R.; K.H. Hartge,** 1986, Bulk Density. In: A. Klute, ed., Methods of Soil Analysis, Part I. Physical and Mineralogical Methods: Agronomy Monograph no. 9 (2nd ed.) ASA and SSSA, Madison, WI. pp. 363-375.
- Buol, S.W., F.D. Hole; R.J. McCracken.** 1971. Soil genesis and classification. The Iowa State University Press. Ames, IA.
- Cassel, D.K.** 1982. Tillage effects on soil bulk density and mechanical impedance. p. 45–67. In: P.W. Unger and D.M. Van Doren (ed.) Predicting tillage effects on soil physical properties and processes. ASA Spec. Publ. 44. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Chen, Y., S. Tessier; J. Rouffignat.** 1998. Soil bulk density estimation for tillage systems and soil textures. *Trans. ASAE.* 41:1601– 1610.
- Day, P.** 1965. Particle fractionation and particle size analysis. In: Black, C. A. (ed.). Part 1. Method of soil analysis. Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin, USA. p. 565-566.
- Ehlers, W.; U. Köpke, F. Hesse; W. Böhm.** 1983. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. *Soil Tillage Res.* 3:261–275.
- Fernández, M.** 1999. Influencia de los fragmentos gruesos en algunas propiedades físicas y químicas del suelo: antecedentes y estado actual del tema: [On line]: <http://edafologia.ugr.es/Revista/tomo6/art9t6t.htm>
- Flint, A.L.; S. Childs.** 1984. Physical properties of rock fragments and their effect on available water in skeletal soils. En:
- Franzen, H., R. Lal, y W. Ehlers.** 1994. Tillage and mulching effects on physical properties of a tropical Alfisol. *Soil Tillage Res.*, 28:329– 346.
- Gee, G.W. ; J.W. Bauder.** 1986. Particle-size analysis. En: A. Klute (ed.) Methods of soil analysis. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. p. 383–411.
- Gee, G.W. ; D. Or.** 2002. Particle-size analysis. En : J.H. Dane and G.C. Topp (Ed.) Methods of soil analysis. Part 4. SSSA Book series N° 5, SSSA, Madison, WI. p 255-293.
- Gregory, P.J.** 1994. Root growth and activity. En: K.J. Boote, J.M. Bennett, T.R. Sinclair, and G.M. Paulsen (ed.) Physiology and determination of crop yield. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI. p. 65–93.

- Grossman R.B.; T. G. Reinsch.** 2003. Bulk density and linear extensibility. *En: Methods of soil analysis. Part 1.* 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. p. 201-254. .
- Horn, R.** 1990. Aggregate characterization as compared to soil bulk properties. *Soil Tillage Res.*, 17:265-289.
- Jaramillo, J. D. F.** 2002. Introducción a la Ciencia del Suelo. [Libro en CD-ROM]. 1a ed. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
- Lampurlanés J.; T.G. Reinsch.** 2002. Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop management systems and their relationship with barley root growth. *Agron J.* 95:526-536.
- Poesen, J.; H. Lavee.** 1994. Rock fragments in top soil: significance and processes. *Catena*, 23: 1 – 28
- Porta, J.; M. López; C. Roquero.** 1999. Edafología para la agricultura y el ambiente. Barcelona, España, Mundi – Prensa. 849 p.
- Soil Survey Division Staff.** 1995. Soil survey manual, USDA-SCS Agric. Handbook. 18. Washington: U.S.D.A. Press. 410p.
- Thien, S.** 1979. A flow diagram for teaching texture-by-feel analysis, *Journal of Agronomic Education*, 8: 54-55.
- Uhland, R.E.** 1949. Physical properties of soils as modified by crops and management. *Soil Science Society of America Proceedings*, 14: 361-366.
- Unger, P.W.** 1991. Overwinter changes in physical properties of no-tillage soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55:778–782.
- U.S.D.A. Soil Conservation Service.** 1992. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Invest. Rpt. No. 42. Washington, DC.