
COMPONENTES
ABIÓTICOS
DE ECOSISTEMAS
MÓDULO SUELOS

*Guía Teórico-práctica: Distribución Tamaño de Partículas, Color y
Ejercicios de Contenido de Agua en el Suelo*

JUAN PABLO FUENTES ESPOZ PH.D.

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA
UNIVERSIDAD DE CHILE

1. Tamaño de las Partículas en el suelo

Como se podrá suponer, en un suelo es posible encontrar partículas de diverso tamaño, las cuales varían desde unos cuantos micrones (μm) hasta fragmentos gruesos de metros de diámetro. Los fragmentos >2 mm de diámetro se conocen como la fracción gruesa del suelo y las partículas < 2 mm son denominadas la fracción fina. Esta fracción fina afecta un sinnúmero de propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Las partículas del suelo pueden ser clasificadas de acuerdo a su tamaño en diferentes rangos. Una de las clasificaciones más utilizadas a nivel mundial es la del United States Department of Agriculture (USDA) (Cuadro 1). Otras clasificaciones son las de la International Soil Science Society (ISSS) y la del Instituto Alemán de Normalización (DIN).

Cuadro 1: Clasificación de las partículas del suelo de acuerdo a su tamaño según el USDA

Clase de tamaño	Diámetro de las partículas (mm)
Grava	> 2.0
Arena	$2.0 - 0.05$
Arena muy gruesa	$1.0 - 2.0$
Arena gruesa	$0.5 - 1.0$
Arena media	$0.25 - 0.5$
Arena fina	$0.1 - 0.25$
Arena muy fina	$0.05 - 0.1$
Limo	$0.002 - 0.05$
Limo grueso	$0.05 - 0.02$
Limo medio	$0.02 - 0.005$
Limo fino	$0.005 - 0.002$
Arcilla	< 0.002
Arcilla gruesa	$0.002 - 0.0002$
Arcilla fina	< 0.0002

2. Textura del suelo

La textura del suelo se puede definir como la proporción relativa de los diferentes tamaños de partículas minerales (< 2 mm) que constituyen el suelo. Los científicos han agrupado los diámetros de las partículas en diferentes “clases” o “separados” del suelo. Cada una de estas clases presenta un rango de tamaños de partículas que le imprimen a cada clase características y requerimientos de

manejo específicos (i.e. riego, laboreo¹). El sistema de clasificación del USDA considera 12 *clases texturales*. Estas clases son posibles de caracterizar gráficamente en el triángulo textural, en el cual, se entregan los porcentajes de arena, limo y arcilla en un gráfico de tres ejes (Fig. 1). Además del triángulo textural, existen otras formas de mostrar los datos de textura. Un ejemplo lo constituye el gráfico biaxial en que sólo se grafican los porcentajes de arena y arcilla (Fig. 2).

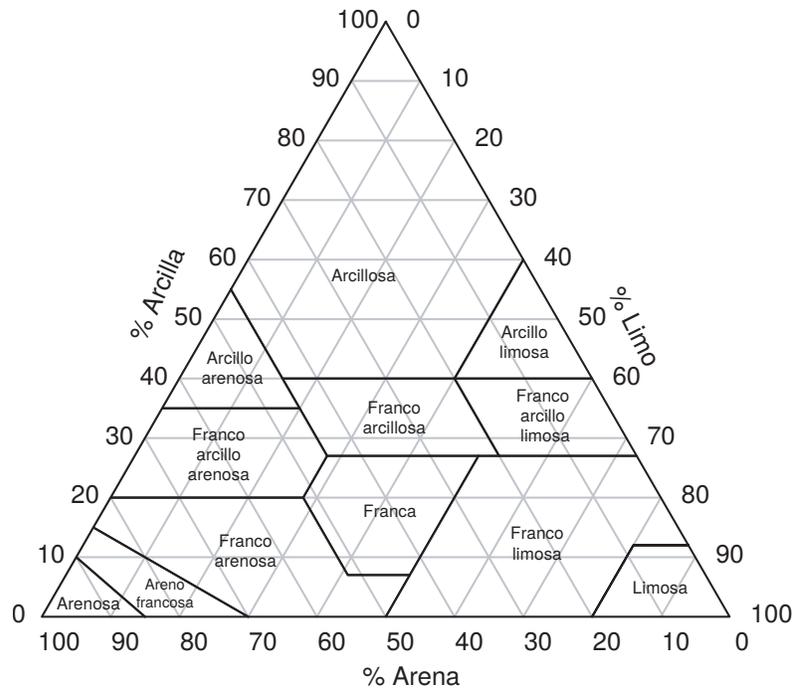


Figura 1: Triángulo textural según clasificación del USDA.

¹Generalmente se entiende por laboreo al uso de implementos y/o maquinaria que alteran la condición física del suelo con el fin de permitir una óptima siembra, plantación, o desarrollo de las plantas.

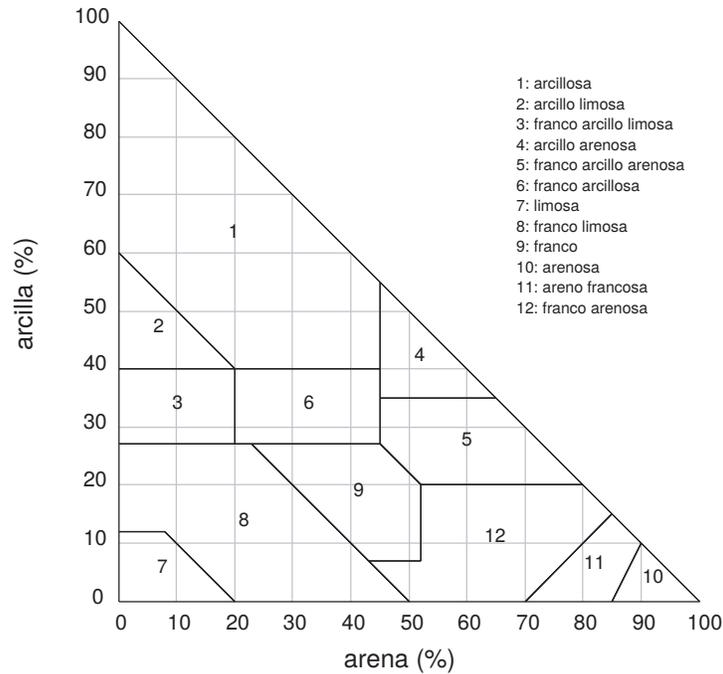


Figura 2: Gráfico de dos ejes según clasificación del USDA.

La textura del suelo se ve influenciada por el tipo de material parental y por el grado de intemperización que éste presente. En el caso de tratarse de suelos formados por materiales transportados, la forma de transporte del material influye notablemente en la textura.

2.1. Determinación de la textura

La textura del suelo puede determinarse mediante análisis de laboratorio o por el método de campo. Varios métodos pueden utilizarse en laboratorio. Aquí destacan los basados en la sedimentación de partículas (e.g., método del hidrómetro o método Bouyoucos) y que utilizan la ley de Stokes (ver Anexo para la explicación de la ley).

En el método de Bouyoucos, la muestra de suelo es agitada en una probeta hasta formar una suspensión, la cual, se deja reposar. Luego de un minuto, las partículas de arena (diámetro 0.05–2.0 mm) han decantado y las partículas de limo (diámetro 0.002–0.05 mm) y arcilla (diámetro <0.002 mm) permanecen en suspensión pudiéndose determinar la cantidad de limo + arcilla con un hidrómetro. Luego de aproximadamente 8 horas, sólo las arcillas permanecen en suspensión. Este método permite la determinación de las tres tamaños de partículas más generales (arena, limo y arcilla). Otros métodos de laboratorio, tales como el *método de la pipeta* permite la determinación

de más rangos de tamaño de partículas, permitiendo la creación de *curvas de distribución de tamaño de partículas*.

En los últimos 20 años se ha desarrollado una nueva tecnología, la cual, permite la determinación de la distribución del tamaño de partículas basado en la difracción de la luz. Esta metodología se conoce como “Difracción de Luz LASER² de Bajo Ángulo” (Low Angle Laser Light Scattering) y cuyo principio es que el ángulo de difracción de la luz es inversamente proporcional al tamaño de la partícula. Como cualquier otro método, éste posee ventajas y desventajas. Su mayor desventaja es que la medición del tamaño de partículas es posible sólo en el rango de los 0.1 a 3000 μm . Su gran ventaja radica en su gran resolución con la obtención de hasta 100 clases de distribución del tamaño de partículas. La figura 3 muestra una típica curva de distribución obtenida mediante esta última metodología.

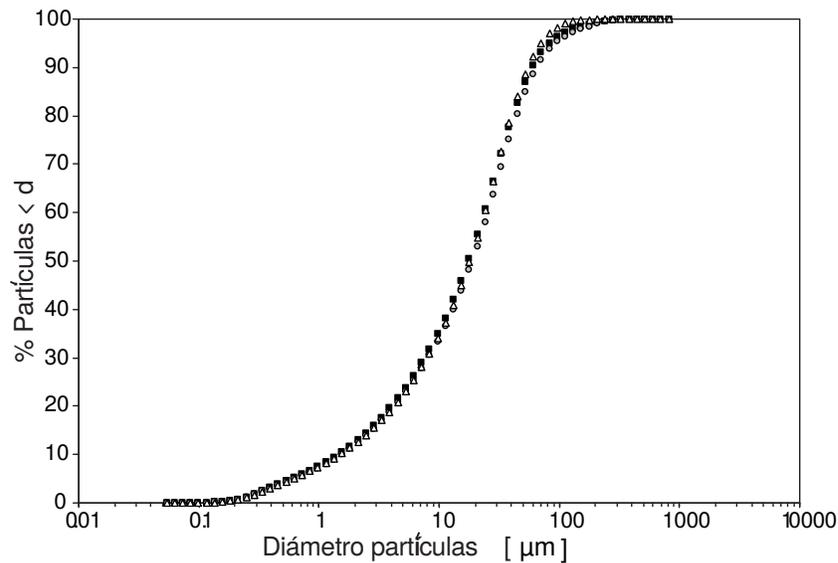


Figura 3: Curvas de distribución de tamaño de partículas para tres suelos similares (suelos franco limosos) obtenida mediante difracción de luz laser de bajo ángulo.

Es necesario mencionar que los métodos de laboratorio, en general, consideran la separación inicial mediante tamizado de las partículas >2 mm (fracción gruesa) y la posterior extracción de la materia orgánica presente en la fracción fina (< 2 mm) de las muestras de suelo sometidas a análisis. Esta extracción se debe a que la materia orgánica es un agente cementante que ayuda a la agregación de las partículas minerales, generando potenciales errores en la determinación de la textura.

²LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

El método de campo es una forma cualitativa de estimar la *clase textural* de un suelo. Este es un método “al tacto” en que una muestra húmeda de suelo es literalmente amasada entre los dedos. Cada clase textural presenta diferentes características, las cuales se detallan a continuación:

- Arenosa (a): La arena es suelta, de grano simple. Los granos individuales pueden sentirse y a veces mirarse, no se adhiere en nada a los dedos y no se puede formar ninguna figura. Al tacto se siente áspero y sonoro. De existir un agregado, éste se rompe al apretarlo.
- Arenoso franco (aF): Hay bastante arena pero tiene la suficiente arcilla y limo para hacerlo ligeramente más ligado o cohesivo. Los granos de arena se ven y se sienten. Si se aprieta en seco se forma un agregado que se separa y en húmedo esta presión formará un agregado que no se romperá de no moverse.
- Franco arenoso (Fa): Las proporciones de limo y arcilla aumentan por lo que hay una mayor cohesión que la anterior clase. Al apretarlo en seco se forma un agregado que se rompe al moverlo. En húmedo se forma un agregado en forma de “lulo” o “cinta” que al pasarlo entre el pulgar e índice se rompe al medio en lo largo. Si se logra formar una bolita, ésta se rompe rápidamente.
- Franco (F): Tiene proporciones adecuadas de arena, limo y arcilla. En húmedo se puede fabricar el “lulo”, “cinta” y “bolita” teniendo mayor duración que en las anteriores clases.
- Franco limoso (FL): Se presenta una mayor consistencia (adhesividad y plasticidad) y es más suave entre los dedos. Se pueden formar las tres figuras las cuales se rompen a la presión suave de los dedos.
- Limoso (L): Es muy suave al tacto y no se adhiere a los dedos. en húmedo parece un jabón y en seco talco.
- Franco arcillo arenoso (FAa): Tiene una mayor consistencia, se pueden formar las tres figuras que se rompen a la presión de los dedos, se siente áspero y se adhiere moderadamente a los dedos.
- Franco arcillo limoso (FaL): Similar a la anterior, sólo que ésta es más suave y no se adhiere a los dedos.
- Franco arcilloso (FA): Ya hay la suficiente proporción de arcilla para hacer que esta clase textural sea más coherente. Se pueden hacer todas las figuras, pero aún se rompen a la presión moderada. Es adhesiva y plástica. Común en suelos bien desarrollados.
- Arcillo arenoso (Aa): Se pueden hacer todas las figuras las que se moldean fácilmente, es plástica y adhesiva sintiéndose los gránulos de arena, que la hace más áspera.

- Arcillo limoso (AL): Es idéntica a la clase textural anterior a excepción de que ésta es más suave al tacto y se adhiere poco a los dedos.
- Arcillosa (A): Es plástica, adhesiva y permite efectuar toda clase de figuras (como plasticina).

Además de esta aproximación general con la caracterización de cada clase textura, existe un diagrama de flujo muy fácil de seguir para así obtener la clase textural del suelo (Fig.4). Obviamente el buen uso determinación de la clase textural, requiere de práctica.

Determinación de la textura por el método de campo

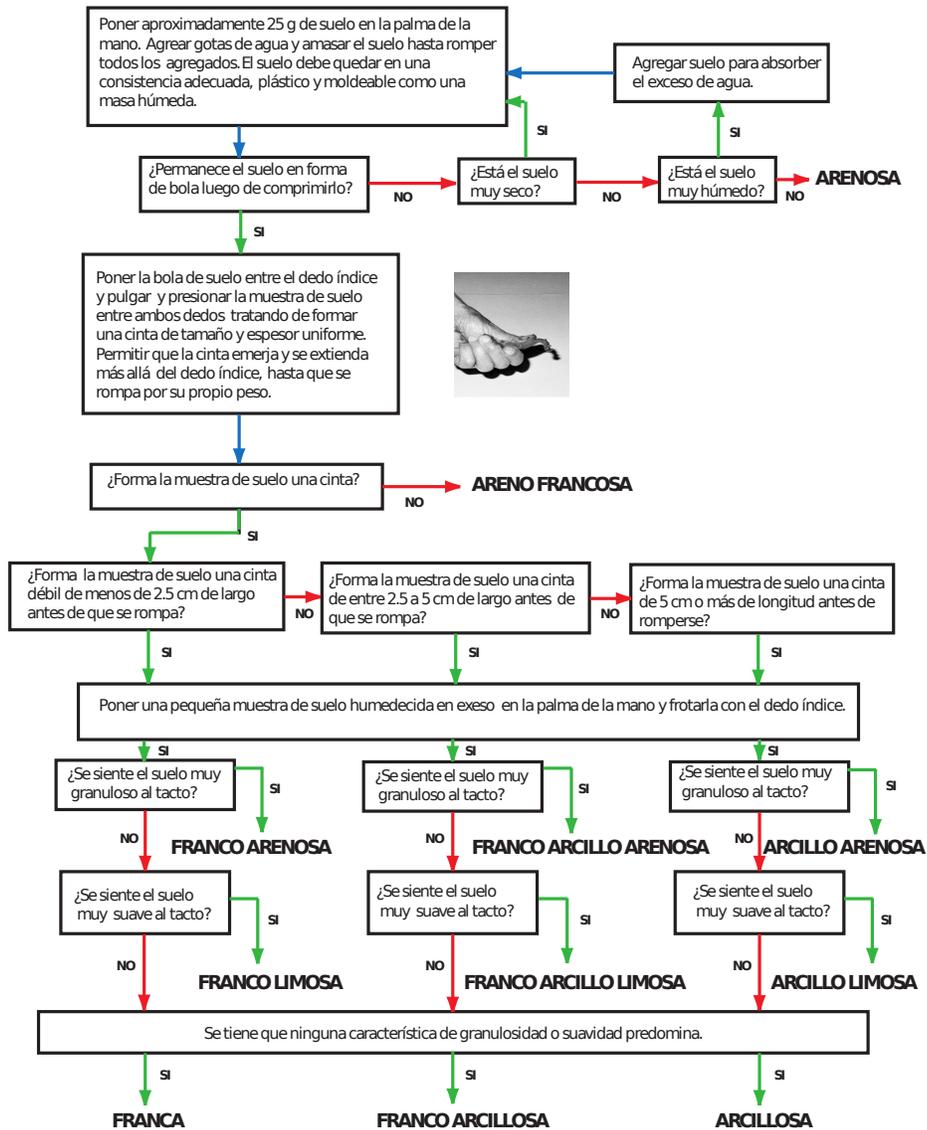


Figura 4: Diagrama para la determinación de la textura por el método de campo.

El sistema Munsell mide tres componentes del color de manera cuantitativa:

- Tono o Matiz (hue): Es el atributo del color por el cual distinguimos un color de otro (el color rojo del verde, el azul del amarillo etc.) Hay un orden natural de matices el cual es: rojo, amarillo, verde, azul, púrpura. De este orden existen variaciones continuas. Por ejemplo, si mezclamos el rojo con el amarillo en distintas proporciones, se producen varios matices o tonos obteniendo entonces un espectro entre el rojo, naranja hasta el amarillo (Fig. 6). En suelos las variaciones del matiz van generalmente desde rojo (R) a amarillo (Y). En el sistema Munsell los principales tonos son el rojo, amarillo, verde, azul y púrpura y los dispuso a iguales intervalos en un círculo, luego se insertan cinco valores de tono intermedios: amarillo-rojo, verde-amarillo, azul-verde y púrpura-azul y rojo-púrpura. Por simpleza de notación, el sistema Munsell utiliza las iniciales como símbolos para designar los 10 valores de tonalidad o hue. En inglés estos tonos 10 tonos son: R, YR, Y, GY, G, BG, B, PB, P, y RP.
- Valor de luminosidad de un color (value): Indica que tan claro u oscuro es un color. Se presenta en una escala que va de 0 (negro puro) a 10 (blanco puro) (Fig. 7).
- La saturación o brillantez de un color (chroma): Indica la variación de un color desde un valor neutral para un mismo valor de luminosidad (value). Colores de bajo chroma son denominados débiles, mientras que chromas altos son indicativos o se consideran altamente saturados, fuertes o vívidos. A modo de ejemplo, supongamos que partimos con una pintura de color gris y vamos agregando poco a poco pintura color rojo, el color gris hará referencia aun bajo chroma y a medida que se va agregando más y más pintura roja, el color rojo va adquiriendo más intensidad y brillantez (más chroma) (Fig. 7).

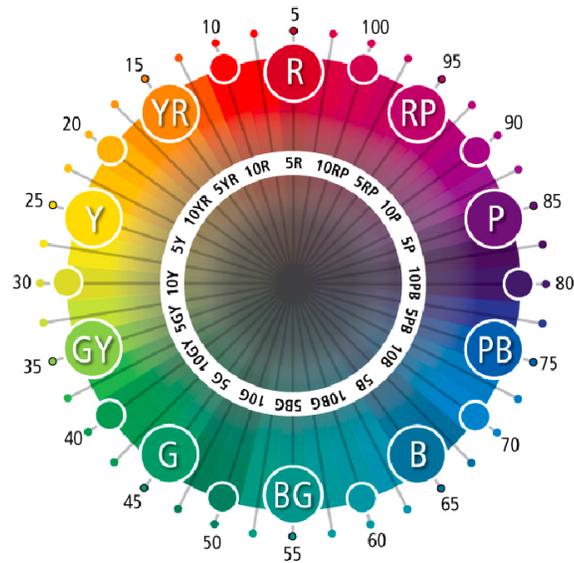


Figura 6: Espectro de colores (hue) cubierto en el sistema Munsell. Obtenido de <https://munsell.com/about-munsell-color/how-color-notation-works/munsell-hue/>

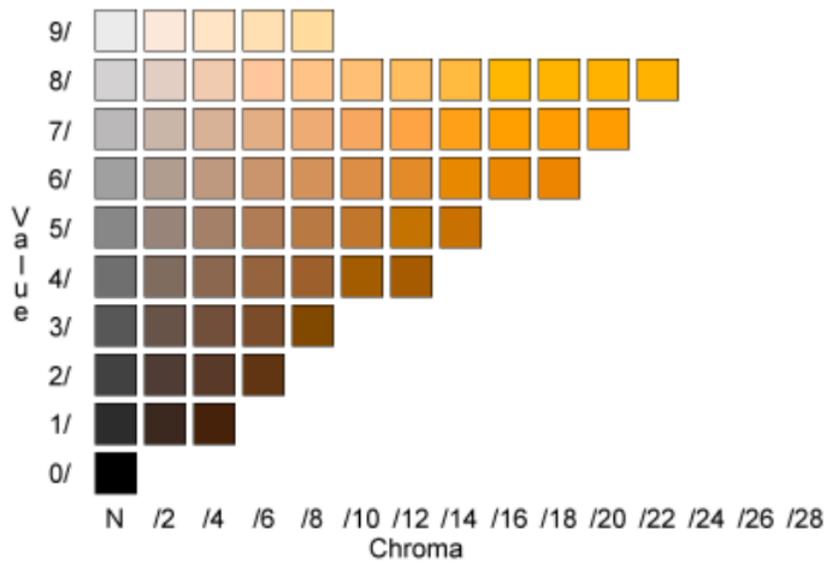


Figura 7: Hoja de colores (Tono 5YR) en que se representan variaciones en value y chroma. Obtenido de <http://facweb.cs.depaul.edu/sgrais/images/ColorMunsell>

4. Actividades

A continuación se entregan una serie de preguntas, las cuales se deben resolver en forma individual.

1. ¿Cuál es el significado de una textura “franca”?

2. Cuatro suelos diferentes presentan la siguiente distribución de partículas:

Suelo	% Arena	% Limo	% Arcilla
A	22	63	15
B	35	30	35
C	15	25	60
D	88	9	3

a) Utilizando los datos entregados en la tabla anterior, ubica en el triángulo textural los diferentes suelos A, B, C, y D (Fig. 8).

b) Indica la clase textural de cada suelo.

- Suelo A: _____
- Suelo B: _____
- Suelo C: _____
- Suelo D: _____

c) ¿Cuál de estos suelos probablemente presenta la mayor cantidad de minerales primarios?
¿Por qué?

d) ¿Cuál de estos suelos probablemente presenta una mayor cantidad de minerales secundarios? ¿Por qué?

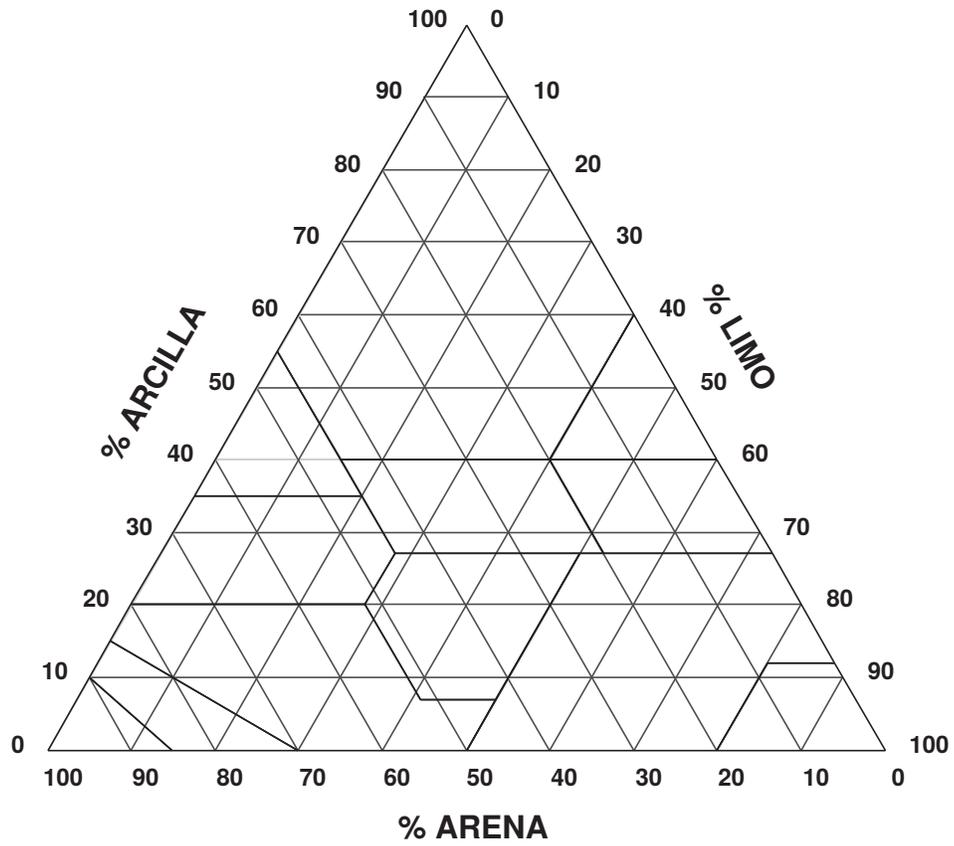


Figura 8: Ubica en el triángulo textural cada uno de los suelos A, B, C, D.

- e) Si se tomaran muestras de igual volumen desde cada uno de estos suelos. ¿Cuál muestra de suelo (A, B, C, D) tendrá la mayor superficie específica? ¿Por qué?.

3. Cinco suelos presentan las siguientes distribuciones de tamaño de partículas (expresadas en %):

Rango de tamaño de partículas d (mm)	Muestra de suelo N°				
	1	2	3	4	5
2-1	5	30	10	30	25
1-0.5	5	1	2	10	10
0.5- 0.25	10	2	1	10	5
0.25-0.10	7	1	2	5	10
0.10-0.05	3	1	2	3	15
0.05-0.025	20	20	3	2	10
0.025-0.01	10	10	5	3	6
0.01 -0.002	10	30	10	2	7
0.002-0.001	10	3	25	5	2
<0.001	20	2	40	30	10

- a) Indica la clase textural de cada una de las muestras de suelo.
- b) Genera un gráfico de las curvas acumuladas de distribución de tamaño de partículas (ver figura 3) de las muestras de suelo. Para este punto debes previamente generar una tabla que contenga los porcentajes de tamaño de partículas menores a cada fracción de tamaño d .
4. Dados los siguientes antecedentes de un volumen de 250 cm^3 de una muestra de suelo:
 Peso húmedo = 350 g
 Peso seco = 246 g

Determine:

- La densidad aparente
 - La porosidad (asuma un valor general de densidad real)
 - El contenido de agua gravimétrico
 - El contenido de agua volumétrico
5. Usted tiene una muestra de suelo cuyo peso en húmedo (más cápsula) es de 86 g. Es puesta a secar en una estufa y al cabo de 12 horas. se registra su peso, dando un valor de 73 g. Una nueva medición es hecha a las 27 horas, registrándose 55 g. Luego, al cabo de 48 horas. se

obtiene un valor de 55 g. Considerando que los suelos se han pesado dentro de una cápsula de 2 g, determine el contenido de agua de la muestra.

6. Usted está a cargo de la adquisición de dos predios en un área caracterizada por tener suelos de diferente textura. Uno de los predios posee suelos de textura franco arenosas y areno franco mientras que el otro predio posee suelos de texturas franco arcillosas a arcillosas. Indique las potenciales ventajas y desventajas de cada predio en términos de almacenamiento y movimiento de agua y fertilidad (*e.g.* disponibilidad de nutrientes y materia orgánica).
7. Una muestra de suelo húmedo tiene una masa de 1.0 kg y un volumen de 0.65 L (650 cm^3) . Luego de secar la muestra en la estufa a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ por 24 horas, la masa de la muestra de suelo seca es 0.7 kg. Asumiendo una densidad específica de 2.65 g cm^{-3} . Calcule la densidad aparente, la porosidad y los contenidos de agua gravimétricos y volumétricos.
8. Una muestra de suelo húmedo tiene una masa de 278 g y un volumen de 150 cm^3 . Luego de secar la muestra en una estufa a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ por 24 horas, el peso de la muestra seca es de 198 g. Asumiendo un valor típico de densidad real o específica, calcule la densidad aparente, la porosidad total y los contenidos de agua gravimétricos y volumétricos.

5. ANEXOS

5.1. La ley de Stokes y el tamaño de partículas determinado por sedimentación

La ley de Stokes es la base teórica del análisis del tamaño de partículas en los suelos. Esta ley establece que la velocidad de caída (velocidad terminal V) de una partícula esférica es proporcional a la fuerza de gravedad (g), la diferencia entre la densidad de la partícula y la densidad del fluido ($\rho_s - \rho_f$) y el radio de la partícula al cuadrado (r^2). También, la velocidad de decantación es inversamente proporcional a la viscosidad del fluido (η).

$$V = \frac{h}{t} = \frac{2 \times r^2 \times (\rho_s - \rho_f)}{9\eta} \quad (1)$$

Donde,

V es la velocidad de caída de una partícula, la cual se puede expresar en términos de altura (h en metros) en un tiempo determinado (t en segundos).

g : fuerza gravitacional = 9,81 Newtons por kilogramo (N kg^{-1}).

η : viscosidad del fluido la cual usualmente es agua a 20°C ($10^{-3} \text{ Ns m}^{-2}$).

ρ_s : Densidad de las partículas, la cual usualmente se considera igual a la densidad del cuarzo ($2,65 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$).

ρ_f : Densidad del fluido (agua) igual a 10^3 kg m^{-3} .

Hay que considerar que esta ley, en estricto rigor, sólo es aplicable a esferas y por lo tanto es más adecuada para arenas. Si las partículas son más finas, más se desvían de una forma esférica, y en el caso de los minerales de arcilla, éstos tienen formas laminares y por ende su velocidad de decantación es diferente. Para otras formas no esféricas, se considera el denominado *radio equivalente*, el cual es el radio promedio de las partículas y, para efectos prácticos, es simplemente supuesto como igual al radio de una esfera.

Al simplificar la ecuación considerando los valores anteriores y expresando el radio en términos de diámetro (d en metros m), podemos encontrar que:

$$V = \frac{h}{t} = \frac{9 \times 10^5}{\text{seg } m} \times d^2 \quad (2)$$

De manera de expresar la ecuación en términos aún más simples:

$$V = \frac{h}{t} = k \times d^2 \quad (3)$$

En donde $k = \frac{9 \times 10^5}{\text{seg } m}$

5.1.1. Un ejemplo práctico de cálculo de tiempo de sedimentación

Supongamos que tenemos una probeta con una mezcla de suelo y agua y que analizamos la suspensión de suelo a 0,1 m (10 cm) de profundidad. Queremos calcular el tiempo de decantación (en segundos) que debiésemos esperar para que todas las partículas de limo más pequeñas existentes a esa profundidad decanten, quedando, por ende, sólo partículas del tamaño de las arcillas en la suspensión.

En función de lo anterior, tenemos que:

$$h = 0,1 \text{ m}$$

$d = 0,002 \text{ mm}$ ($2 \times 10^{-6} \text{ m}$) que corresponde al tamaño mínimo de una partícula de limo.

Resolviendo la ecuación para t (en segundos) tenemos:

$$V = \frac{h}{t} = k \times d^2 \rightarrow t = \frac{h}{k \times d^2} \quad (4)$$

$$t = \frac{h}{k \times d^2} = \frac{0,1m}{(9 \times 10^5 \text{ seg}^{-1}m^{-1}) \times (2 \times 10^{-6}m)^2} \quad (5)$$

$t = 27.777,77$ segundos; lo que equivale a 462,96 minutos o 7,72 horas

En comparación, si realizamos el mismo ejercicio pero ahora para las partículas de arena más pequeñas ($d=0,05 \text{ mm}$), éstas realizarán el mismo trayecto en tan solo 44 segundos.

5.1.2. ¿Qué determinamos en el método de Bouyoucos?

En el método de Bouyoucos, se utiliza un hidrómetro, el cual mide la concentración de partículas de limo y arcilla a través de la densidad de la suspensión de suelo en una probeta graduada de 1 litro (Fig. ??). Como sabemos que las partículas de arcilla se demoran más en decantar que las partículas de limo, y las de limo más que las de arena, se utiliza un hidrómetro precalibrado para suelos (Fig. 10). Con el hidrómetro se toma una primera lectura de la suspensión a los 40 segundos luego de la agitación total de la suspensión (partículas de arena decantan y el limo + arcillas están aún en suspensión) y luego de 7 horas (partículas de limo decantan quedando sólo las partículas de arcilla en suspensión). Nótese que los tiempos de las lecturas coinciden aproximadamente con los valores calculados en el ejemplo anterior.

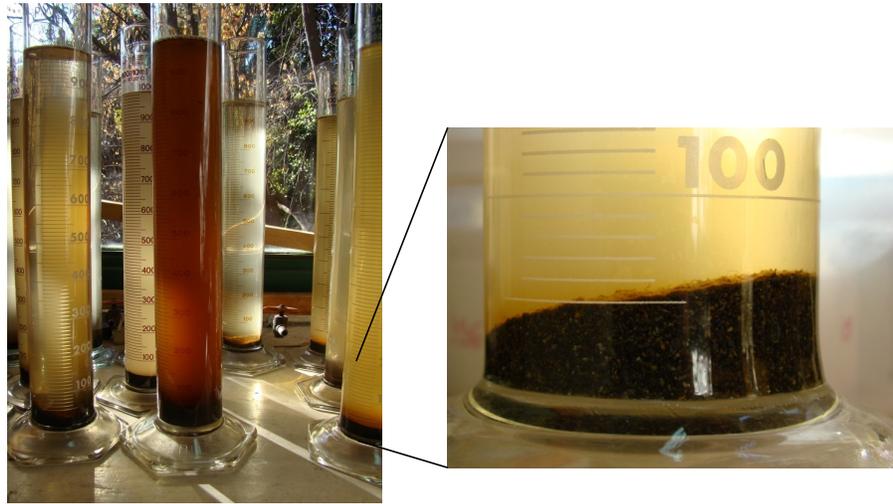


Figura 9: Proceso de decantación de las partículas en la suspensión de suelo. Las partículas de arena (2-0,05 mm) decantan primero, tardándose aproximadamente 44 segundos en desplazarse 10 cm. Las partículas de limo (0,05-0,002 mm) les siguen, tardándose aproximadamente 7,7 horas en decantar si se desplazan desde una altura de 10 cm.



Figura 10: Típico hidrómetro para suelos. Este aparato determina la densidad de la suspensión de suelo y está precalibrado para su utilización en ciencias del suelo.