

*Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela de Ingeniería Agrícola
Suelos y su Laboratorio, Tomo I I
Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal
Costa Rica - 2025*

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -
Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

Dedicatoria y agradecimiento

A Dios sobre todas las cosas que es el dador de toda vida y de toda buena dádiva

(Adquiere sabiduría, adquiere entendimiento y no te apartes de los dichos de mi boca. No la abandones para que ella te proteja, ámala para que te libre)

Proverbios 4: 5 - 6

(Presta atención hijo Mío a mis Palabras e inclina tu oído a mi discurso, no se aparten de tus ojos; sino guárdalas dentro de tu corazón, pues son vida para los que las hallan y salud para toda su carne)

Proverbios 4: 20 - 22

A mi amada esposa Kattia Lorena Moreno Valencia

A mis amados hijos Jafet y Kemuel
Chavarría Moreno

A todos aquellos que en algún momento y en alguna medida me han ayudado y aconsejado

[CC BY-NC-ND 4.0](#)

Contenido

Índice de Figuras	4
Índice de Cuadros.....	8
Análisis de la distribución del tamaño de partículas	13
1- Granulometría por tamizado	15
Clasificación Unificada de suelos (SUCS).....	31
2- Granulometría por sedimentación (llamado normalmente Textura del suelo).....	55
3- Granulometría por propiedades cualitativas (el tacto y comportamiento físico de la adhesión y la cohesión).....	134
4- Granulometría por evaluación visual de la sedimentación	147
Bibliografía.....	150

CC BY-NC-ND 4.0

Índice de Figuras

Figura 1: Ejemplo de la curva por tamizado con una muestra de suelo de 15,1512 kg.....	22
Figura 2: Diagrama de un ejemplo de lo que representa el tamizado de una muestra cualquiera mediante su representación gráfica	23
Figura 3: Ejemplo de la curva por tamizado con una muestra de suelo de 200 gramos proveniente del suelo de la parte fina de la muestra de 15,1512 kg.....	26
Figura 4: Ejemplo de cálculo del valor D10 por medio de fórmulas y no gráficamente de una prueba de tamizado	28
Figura 5: Ejemplo de cálculo del valor D30 por medio de fórmulas y no gráficamente de una prueba de tamizado	29
Figura 6: Ejemplo de cálculo del valor D60 por medio de fórmulas y no gráficamente de una prueba de tamizado	30
Figura 7: Ejemplo de cálculo de los valores Cu y Cc con datos de D10, D30 y D60 calculados por medio de fórmulas y no gráficamente de una prueba de tamizado	31
Figura 8: Carta de plasticidad de Casagrande.....	35
Figura 9: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos de Casagrande SUCS – ASTM D2487	36
Figura 10: Sistema Sistema Unificado de Clasificación de Suelos de Casagrande y su condición de drenaje.....	37
Figura 11: Diagrama de flujo para la clasificación de partículas gruesas (SUCS ASTM D2487)	38
Figura 12: Diagrama de flujo para la clasificación de partículas finas (SUCS ASTM D2487).	39
Figura 13: Diagrama de flujo para la clasificación de suelos orgánicos de partículas finas (SUCS ASTM D2487).....	40

CC BY-NC-ND 4.0

Figura 14: Ejemplo de distribución o del comportamiento de las muestras al pasar le criba ..	41
Figura 15: Definición gráfica de los valores de D10, D30 y D60 en escala logarítmica	42
Figura 16: Sistema Unificado de Clasificación de los suelos (SUCS).....	43
Figura 17: Ejemplo de medidas y cálculos desoués de el paso en los tamises.....	44
Figura 18: Ejemplo de un gráfico para estimar el valore del diámetro D30 y así para cualquier diámetro.....	45
Figura 19: Ejemplo de las medidas del los tamices a utilizar para las medidas de las muestras	46
Figura 20: Ejemplo de un gráfico para estimar el valore de los diámetros para cualquier diámetro.....	47
Figura 21: Ddefinición de los tamaños de las partículas del suelos (mm) (USCS-AASHTO) .	48
Figura 22: Ejemplo de las medidas de la granulometría por medio de los tamices a utilizar para las medidas de las muestras	49
Figura 23: Relaciones de masas y vacíos en el suelo	51
Figura 24: Valores de la constante C.....	51
Figura 25: Esquema del ascenso capilar en el suelo.....	52
Figura 26: Tamaños de ñas partículas del suelo graficadas según sistema de clasificación..	58
Figura 27: Triangulo textural del sistema USDA que muestra un ejemplo de la estimación de la textura del suelo.....	59
Figura 28: Ejemplo del gráfico de sedimentación acumulada (%) de las partículas con respecto al diámetro (micras) de las partículas para la estimación de la textura del suelo	86

Figura 29: Ejemplo del gráfico de sedimentación acumulada (%) de las partículas con respecto al diámetro (micras) de las partículas para la estimación de la textura del suelo (para los tiempos de 0,5 1; 3, 10, 40, 100, 250 y 1400 min).....	98
Figura 30: Ejemplo del gráfico de semilogarítmico para la estimación de la textura del suelo (a 3, 10, 30 (0,5 h), 90 (1,5 h), 360 (6 h), 480 (8 h) y 600 (10 h) minutos).....	105
Figura 31: Gráfico de sedimentación acumulada linealizada para el cálculo de la textura según esta metodología del cuadro 30.....	107
Figura 32: Gráfico de sedimentación acumul+ada sin linealizar para el cálculo de la textura según esta metodología del cuadro 30.....	108
Figura 33: Fórma de cálculo de la metodología Método de Bouyoucos modificado por Frómeta	111
Figura 34: Triángulo textural según WRB.....	116
Figura 35: Triángulo de clases texturales dado por la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo (ISSS, 1963).....	117
Figura 36: Triángulo de clases texturales dado por la USDA (USDA, 1975).....	118
Figura 37: Triángulo de clases texturales reducido a tre texturas.....	119
Figura 38: Triángulo de textura brasileño (Rodríguez, J, 2011).....	120
Figura 39: Triángulo de textura reducido en cuatro grupos (Rodríguez, J, 2011).....	121
Figura 40: Triángulo de clasificación textural (Wendland, E, 2004).....	122
Figura 41: Triángulo textural de acuerdo a composición granulométrica.....	123
Figura 42: Triángulo para clasificación de textura adaptado a los límites internacionales de las fracciones granulométricas (DRAP CENTRO, 2016).....	124

CC BY-NC-ND 4.0

Figura 43: Triángulo para clasificación de textura solamente con los nombres de las arenas, limos y arcillas	125
Figura 44:: Triángulo para clasificación de textura en muy pesada (MP), pesada (P), medianamente pesada (MdP), mediana (M) y gruesa (G) según Gómez y Siva utilizado en Portugal	126
Figura 45: Suelo entre los dedos para textura al tacto.....	135
Figura 46: Triangulo textural para estimar textura al tacto.....	136
Figura 47: Cantidad de suelo fácil manipulación	137
Figura 48: Suelo húmedo para amasar.....	137
Figura 49: Amasado de la muestra de suelo	138
Figura 50: Confección de un cilindro alargado de la muestra de suelo	138
Figura 51: Rompimiento del cilindro alargado al formar un círculo	138
Figura 52: No rompimiento del cilindro alargado al formar un círculo	139
Figura 53: Suelo húmedo y frotado con el dedo índice contra la palma de la mano.....	139
Figura 54: Suelo arenoso.....	140
Figura 55: Frotado de muestra de suelo entre los dedos índice y pulgar	141
Figura 56: Formación de pequeños cilindros alargados entre los dedos índice y pulgar.....	142
Figura 57: Guía para determinar manualmente la clase textural de los suelos	144
Figura 58: Determinar manualmente la clase textural de los suelos mejorado (USDA)	145
Figura 59: Guía para determinar manualmente la clase textural de los suelos por WRB.....	146
Figura 60: Guía para determinar manualmente la clase textural de los suelos meorado	148

CC BY-NC-ND 4.0

Índice de Cuadros

Cuadro 1: Tamaño de tamices estándar de USA	16
Cuadro 2: Formato para toma de datos granulometría por tamizado	17
Cuadro 3: Cálculo de porcentajes según cuadro 2 para la granulometría por tamizado	17
Cuadro 4: Información	19
Cuadro 5: Información	20
Cuadro 6: Información	23
Cuadro 7: Información	24
Cuadro 8: Prefijos y sufijos de los tipos de suelo según la carta de plasticidad del Casagrande	32
Cuadro 9: Prefijos y sufijos de los nombres típicos de los materiales de los suelos.....	33
Cuadro 10: Tamaño y clasificación de las partículas minerales de la textura del suelo según varios sistemas de clasificación.....	58
Cuadro 11: Tamaños de las partículas en el suelo para diferentes sistemas de clasificación	58
Cuadro 12: Información necesaria para cálculo de textura por el método del Comité sobre Física de la Sociedad de la Ciencia del Suelo de los Estados Unidos	66
Cuadro 13: Información necesaria para cálculo de textura por el método del Comité sobre Física de la Sociedad de la Ciencia del Suelo de los Estados Unidos para mayor tiempo de medida.....	67
Cuadro 14: Registro y cálculo para el análisis del tamaño de las partículas	68
Cuadro 15: Evaluación del valor del promedio ponderado de “b” cuando la temperatura varía durante la sedimentación.....	69

CC BY-NC-ND 4.0

Cuadro 16: Información o lecturas y medidas para cálculo de textura por el método del comité sobre Física de la Sociedad de la Ciencia del Suelo de los Estados Unidos	70
Cuadro 17: Corrección de la temperatura de cada lectura de R para R_L de la calibración donde las correcciones están colocadas con base a los cambios de densidad del agua con la temperatura (para el método del comité sobre Física de la Sociedad de la Ciencia del Suelo de los Estados Unidos)	71
Cuadro 18: Valores del factor de corrección “f” para la concentración “c” cuando la densidad de partículas no es igual a $2,65 \text{ g/cm}^3$ a temperaturas de agua entre $10 \text{ }^\circ\text{C}$ y $35 \text{ }^\circ\text{C}$ (para el método del Comité sobre Física de la Sociedad de la Ciencia del Suelo de los Estados Unidos)	72
Cuadro 19: Cálculo del porcentaje acumulativo sedimentado Z_t para la estimación de la textura por el método del Comité sobre Física de la Sociedad de la Ciencia del Suelo de los Estados Unidos (continuación cuadro 10).....	73
Cuadro 20: Valores del parámetro θ según Day para el cálculo del tamaño de partículas “d” para una temperatura de $30 \text{ }^\circ\text{C}$ y densidad aparente de $2,65 \text{ g/ml}$ aplicado para el método del Comité sobre Física de la Sociedad de la Ciencia del Suelo de los Estados Unidos	76
Cuadro 21: Valores del factor de corrección “b” para la temperatura de sedimentación (viscosidad) y la densidad de partículas que deben aplicarse al valor de θ a $30 \text{ }^\circ\text{C}$ y densidad real de partículas de $2,65 \text{ g/ml}$ utilizado en el método del Comité sobre Física de la Sociedad de la Ciencia del Suelo de los Estados Unidos	77
Cuadro 22: Cálculo del valor del promedio ponderado de “b” cuando la temperatura varía durante la sedimentación para aplicarse por el método del Comité sobre Física de la	

CC BY-NC-ND 4.0

Sociedad de la Ciencia del Suelo de los Estados Unidos (utilización del cuadro 10 para el cálculo de la columna 11 del cuadro 17).....	80
Cuadro 23: Cálculo del diámetro de partículas sedimentado a los tiempos de medida establecidos para el método del Comité sobre Física de la Sociedad de la Ciencia del Suelo de los Estados Unidos (término del cuadro 8 y continuación de los cuadros 10 y 13)	82
Cuadro 24: De la figura 23 se leen los porcentajes acumulados correspondientes a los diámetros de partículas de las arcillas y los limos según el USDA y de la figura 22 se estima la textura	85
Cuadro 25: De la figura 23 se leen los porcentajes acumulados correspondientes a los diámetros de partículas de las arcillas y los limos según el SI y de la figura 22 se estima la textura.....	85
Cuadro 26: Datos tomados (para los tiempos de 0,5 1; 3, 10, 40, 100, 250 y 1400 min) para el cálculo del diámetro de partículas sedimentado para el método del Comité sobre Física de la Sociedad de la Ciencia del Suelo de los Estados Unidos.....	88
Cuadro 27: Cálculo del porcentaje acumulativo sedimentado Z_t para la estimación de la textura por el método del Comité sobre Física de la Sociedad de la Ciencia del Suelo de los Estados Unidos (para los tiempos de 0,5 1; 3, 10, 40, 100, 250 y 1400 min) (continuación del cuadro 20)	89
Cuadro 28: Cálculo del valor del promedio ponderado de “b” cuando la temperatura varía durante la sedimentación (para los tiempos de 0,5; 1, 3, 10, 40, 100, 250 y 1400 min) para aplicarse por el método del Comité sobre Física de la Sociedad de la Ciencia del	

CC BY-NC-ND 4.0

Suelo de los Estados Unidos (terminación del cuadro 9 y cálculo de la columna 11 del cuadro 23)	92
Cuadro 29: Cálculo del diámetro de partículas sedimentado (para los tiempos de 0,5 1; 3, 10, 40, 100, 250 y 1400 min) para el método del Comité sobre Física de la Sociedad de la Ciencia del Suelo de los Estados Unidos (terminación del cuadro 8 y continuación de los cuadros 20 y 21)	95
Cuadro 30: De la figura 24 se leen los porcentajes acumulados correspondientes a los diámetros de partículas de las arcillas y los limos según el USDA y de la figura 22 se estima la textura (para los tiempos de 0,5 1; 3, 10, 40, 100, 250 y 1400 min).....	97
Cuadro 31: De la figura 24 se leen los porcentajes acumulados correspondientes a los diámetros de partículas de las arcillas y los limos según el SI y de la figura 22 se estima la textura (para los tiempos de 0,5 1; 3, 10, 40, 100, 250 y 1400 min)	97
Cuadro 32: Determinación de arena gruesa (200 – 2000 μm , ISSS).....	101
Cuadro 33: Cálculo para la distribución porcentual del tamaño de partículas	102
Cuadro 34: Factor de corrección del diámetro de las partículas para temperaturas diferentes a 30 °C.....	103
Cuadro 35: Valores de θ en función de las lecturas observadas en el densímetros (Day 1965)	103
Cuadro 36: Cálculos de textura con esta metodología	106
Cuadro 37: Cálculo de las cantidades de Arcillas, Limos y Arenas para calcular en el triángulo textural la textura según el sistema USDA	109
Cuadro 38: Cálculo de las cantidades de Arcillas, Limos y Arenas para calcular en el triángulo textural la textura según el Sistema Internacional	109

CC BY-NC-ND 4.0

Cuadro 39: Valores de la densidad de a disolución de suelo expresada en el densímetro llevados al hidrómetro de Bouyoucos	115
Cuadro 40: Resumen de la metodología	133

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -
Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

Análisis de la distribución del tamaño de partículas

La textura del suelo es una propiedad que se relaciona directamente con los procesos de degradación y potencial de producción del suelo, siendo esta característica esencial para determinar un apropiado manejo y una correcta planificación agrícola para el suelo.

La textura es uno de los parámetros más importantes para el suelo ya que influye enormemente, junto con la estructura, en otras propiedades como la permeabilidad, la aireación y la capacidad de retención de agua y nutrientes. Se define como la proporción de arena, limo y arcilla en el suelo ya que, al ser de diferente tamaño, su presencia y proporción va a determinar el tipo de suelo que tenemos y, por tanto, su comportamiento en cuanto a dinámica del agua y aire, su facilidad para el manejo o la resistencia que ofrece a la exploración de las raíces en su búsqueda de agua y nutrientes.

Los grupos texturales dependen de la cantidad de Arena, Limo y Arcilla (partículas del suelo desde el punto de vista edafológico) del suelo. Existen cuatro grandes grupos de texturas en el suelo:

- Suelos Arenosos: predominan las partículas de arena, las más grandes y menos cohesionadas, provocando que el suelo esté más suelto, sea de fácil manejo agrícola y tenga buena aireación e infiltración de agua pero de poca retención de agua y nutrientes debido a que se forman pocos poros y grandes.
- Suelos Limosos: predominan las partículas de limo, de tamaño intermedio entre arenas y arcillas, haciéndolos inestables y susceptibles a la formación de costra superficial y a la erosión. Son suelos de baja infiltración de agua, aireación y mineralización.
- Suelos Francos: Predominan las arcilla, partículas finas y muy activas, con carga eléctrica superficial, lo que hace que se aglutinen fácilmente, dificultando las labores agrícolas y presentando baja infiltración de agua, aireación y mineralización pero alta capacidad de intercambio catiónico, retención de agua y nutrientes debido a la formación de muchos y pequeños poros. Además, también presenta mayor susceptibilidad a la erosión que los suelos arenosos.
- Suelos Arcillosos: Los suelos francos son aquellos en los que las partículas del suelo están presentes de forma proporcional y se considera el suelo ideal ya que presenta buena estructura y unas condiciones apropiadas.

CC BY-NC-ND 4.0

Seguendo la terminología establecida por la USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América), tenemos las siguientes clases de partículas inferiores a 2 mm de diámetro (\emptyset):

Arena muy gruesa:	$2 \text{ mm} > \emptyset > 1 \text{ mm}$
Arena gruesa:	$1 \text{ mm} > \emptyset > 0.5 \text{ mm}$
Arena media	$0,5 \text{ mm} > \emptyset > 0,25 \text{ mm}$
Arena fina	$0,25 \text{ mm} > \emptyset > 0,10 \text{ mm}$
Arena muy fina	$0,10 \text{ mm} > \emptyset > 0,05 \text{ mm}$
Limo	$0,05 \text{ mm} > \emptyset > 0,002 \text{ mm}$
Arcilla	$\emptyset < 0,002 \text{ mm}$

No obstante, a grandes rasgos se clasifica:

Arena	$2 \text{ mm} > \emptyset > 0,05 \text{ mm}$
Limo	$0,05 \text{ mm} > \emptyset > 0,002 \text{ mm}$
Arcilla	$\emptyset < 0.002 \text{ mm}$

La determinación de la textura por parte del laboratorio ha de ser precisa, ya que muchas de las características del suelo dependen de la misma:

- Capacidad de Drenaje Natural.
- Capacidad de Retención de Agua.
- Aireación.
- Susceptibilidad a la erosión.
- Capacidad de contener materia orgánica.
- Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)
- Capacidad de amortiguación de pH.

Objetivo

Además de entender la importancia de la granulometría del suelo, también; por medio de algunos procedimientos, lograr determinar cuantitativa y cualitativamente la distribución de los tamaños de las partículas de un suelo por medio tanto de la:

- 1- granulometría por tamizado representado en el Sistema de Clasificación Unificada de Suelos (SUCS)
- 2- Textura por diferentes metodologías de granulometría por sedimentación propuestas en las cuales se utilizan normalmente hidrómetros.
- 3- Granulometría por propiedades cualitativas
- 4- Granulometría por evaluación visual de la sedimentación

CC BY-NC-ND 4.0

1- Granulometría por tamizado

En los proyectos de ingeniería, conocer el tipo de suelo en donde se ubicará una obra es de suma importancia ya que permite determinar factores para cada etapa de los proyectos, tanto en el diseño como en la construcción y mantención.

Para determinar el tipo de textura del suelo y sus características existen algunos métodos de laboratorio, pero es muy importante que el ingeniero sea capaz de reconocer el tipo y los diferentes componentes de un suelo, incluso en el campo. Para esto existen algunas clasificaciones dependiendo del tamaño del grano (Cuadros 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y Figuras 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 y 22) y también según algunas características.

La granulometría por tamizado es un proceso mecánico mediante el cual se separan las partículas de un suelo en sus diferentes tamaños, denominado a la fracción menor como limo y arcilla. Se lleva a cabo utilizando tamices en orden decreciente. La cantidad de suelo retenido indica el tamaño de la muestra, esto solo separa una porción de suelo entre dos tamaños.

Además, la granulometría por tamizado se puede definir como la distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen una muestra de suelo y una curva granulométrica es la representación gráfica del ensayo granulométrico y a la vez, es por medio de ésta que es posible observar la graduación del suelo, graficando el tamaño de el tamiz (mm) vs. porcentaje que pasa.

Un tamiz consiste en una malla metálica constituida por barras tejidas y que dejan un espacio entre sí por donde se hace pasar la muestra de suelo

En ingeniería geotécnica, el tamaño de las partículas del suelo es un factor crucial para determinar sus propiedades y comportamiento. Los suelos se clasifican según el tamaño de sus partículas, desde las más gruesas (guijarros) hasta las más finas (arcillas). Los rangos de tamaño más comunes son: gujarros (>75mm), grava (4,75 a 75mm), arena (0,075 a 4,75mm) y finos (limo y arcilla, <0,075mm).

Clasificación detallada del tamaño de las partículas del suelo:

- Guijarros: Partículas mayores de 75 mm de diámetro.
- Grava: Partículas con diámetros entre 4,75 mm y 75 mm.
- Arena: Partículas con diámetros entre 0,075 mm y 4,75 mm.
- Limos: Partículas con diámetros entre 0,002 mm y 0,075 mm.
- Arcillas: Partículas con diámetros menores a 0,002 mm

CC BY-NC-ND 4.0

Cuadro 1: Tamaño de tamices estándar de USA

Número Alternativo	Abertura Nominal	Norma (mm)			
4"	4.000	100mm	No. 7	0.110	2.80mm
3.5"	3.500	90mm	No. 8	0.094	2.36mm
3"	3.000	75mm	No. 10	0.078	2.00mm
2.5"	2.500	63mm	No. 12	0.066	1.70mm
2.12"	2.120	53mm	No. 14	0.055	1.40mm
2"	2.000	50mm	No. 16	0.046	1.18mm
1.75"	1.750	45mm	No. 18	0.039	1.00mm
1.5"	1.500	37.5mm	No. 20	0.033	850 μ
1.25"	1.250	31.5mm	No. 25	0.027	710 μ
1.06"	1.060	26.5mm	No. 30	0.023	600 μ
1"	1.000	25.0mm	No. 35	0.019	50 μ
.875"	0.875	22.4mm	No. 40	0.016	425 μ
.75"	0.750	19.0mm	No. 45	0.013	355 μ
.625"	0.625	16.0mm	No. 50	0.011	300 μ
.530"	0.530	13.2mm	No. 60	0.009	250 μ
.500"	0.500	12.5mm	No. 70	0.008	212 μ
.434"	0.434	11.2mm	No. 80	0.007	180 μ
.375"	0.375	9.5mm	No. 100	0.005	150 μ
.312"	0.312	8.0mm	No. 120	0.0049	125 μ
.265"	0.265	6.7mm	No. 140	0.0041	106 μ
.25"	0.250	6.3mm	No. 170	0.0035	90 μ
.125"	0.125	3.17mm	No. 200	0.0029	75 μ
No. 3-1/2	0.223	5.6mm	No. 230	0.0024	62 μ
No. 4	0.187	4.75mm	No. 270	0.0020	53 μ
No. 5	0.157	4.00mm	No. 32	0.0017	45 μ
No. 6	0.131	3.35mm	No. 400	0.0014	38 μ
			No. 450	0.0012	32 μ
			No. 500	0.0009	25 μ
			No. 635	0.0007	20 μ

Tomado de: (TECNOLOGÍA DEL CONCRETO - UAP V Ciclo, 2016)

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -
 Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

Porcentaje de suelo retenido:

$$R_i = \frac{P_{ri}}{P_t} * 100$$

Dónde:

R_i [%]: Porcentaje de peso retenido.

P_{ri} [gr]: Peso de suelo retenido por la malla i

P_t [gr]: Peso total de la muestra.

Suelo que pasa:

$$P_i = 100 - \sum R_j$$

Dónde:

R_j [%]: Porcentaje de peso retenido.

P_i [%]: Peso de suelo que pasa por la malla i

Calculo del porcentaje de error

$$\% \text{ error} = \frac{M_0 - M_F}{M_0} * 100$$

M_0 : masa total antes del tamizado

M_F : masa total después del tamizado

Coefficiente de uniformidad

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Dónde:

C_u : Coeficiente de uniformidad

D_i [mm]: Diámetro tal que el i[%] del suelo pasa por la malla

Entonces se puede observar que el coeficiente de uniformidad “Cu” se define como la relación entre el diámetro correspondiente al 60% del peso del material y el diámetro correspondiente al 10% del peso del material y viene a indicar la variación del tamaño de los granos presentes en la muestra y por ello un valor grande de Cu indica que los diámetros D_{60} y D_{10} difieren en tamaño apreciable.

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

Coeficiente de curvatura

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}}$$

Dónde:

C_c : Coeficiente de curvatura.

D_i [mm]: Diámetro tal que el i [%] del suelo pasa por la malla

Ejemplo de análisis granulométrico:

Un análisis granulométrico por tamizado de una muestra cuyo peso total es de 15151,2 g. Se obtuvo el siguiente resultado:

Cuadro 4: Información

Diámetro	Material Retenido
1½"	0.00
1"	1818.10
¾"	1212.10
3/8"	3030.20
4	2272.70
< 4	6818.10
Σ	15151.20

Calcular y graficar la curva granulométrica ([las gráficas se pueden utilizar linealizadas o sin linealizar y para nuestro caso se van a utilizar las curvas sin linealizar](#)):

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

Cuadro 5: Información

Diámetro	Material Retenido	% Retenido	% Ret. Acum.	% Acumulado P.
1½"	0.00	0.00	0	100
1"	1818.10	11.90	11.9	88.1
¾"	1212.10	8.00	19.9	80.1
3/8"	3030.20	19.90	39.89	60.11
4	2272.70	15.00	54.9	45.1
< 4	6818.10	45.00		
∑	15151.20			

Tamaño (mm)	Material (g)	Retenido	Retenido	Pasa
Partículas	Retenido	%	Acumulado (%)	% (Total=15,1512 kg)
38,1	0	0,00	0,00	100,00
25,4	1818	12,00	12,00	88,00
19	1212,1	8,00	20,00	80,00
9,5	3030,2	20,00	40,00	60,00
4,75	2272,7	15,00	55,00	45,00
0	6818,1	45,00	100,00	0,00
Total =	15151,1	100		

De la muestra de 15,1512 kg de material grueso y fino encontrado en un suelo dado se puede observar de la figura 1 que existe una pendiente muy fuerte desde 0% hasta el porcentaje de 55% que pasa en todas las partículas menores a 7,0 mm aproximadamente y la pendiente disminuye entre los porcentajes que pasan del 55% al 85% que de 7,0 mm hasta 25,5 mm aproximadamente y del 85% al 100% que es desde los 25,5 hasta los 38 mm disminuye mucho más la pendiente.

Por análisis de la curva granulométrica obtenida figura 1 puede determinar que la muestra contiene un 62% de grava (> 4,00 mm), 34% de arena y un 4% de limo más arcilla.

Con base en la información generada por la curva de la figura 1 también podemos definir el diámetro efectivo, diámetro 10%, diámetro 30% y el diámetro 60% para determinar así si el suelo es uniforme y su coeficiente de curvatura que serían **D₁₀ = 1,0 mm; D₃₀ = 3,0 mm y D₆₀ = 9,5 mm** aproximadamente los cuales se pueden utilizar para el cálculo del Cu y el Cc.

Por ejemplo, si el coeficiente de uniformidad es menor de 5 la granulometría es uniforme, si está comprendido entre el 5 y 20 el suelo es poco uniforme y si es de mayor de 20 se trata de un suelo bien gradado. Un suelo bien gradado tendrá un porcentaje en huecos menor y por ello tendrá una mayor densidad y serán suelos menos compresibles y más impermeables.

El coeficiente de uniformidad:

CC BY-NC-ND 4.0

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$Cu = \frac{9,5}{1,0} = 9,5$$

Como Cu <15 entonces clasifica como un suelo POCO UNIFORME

El coeficiente de curvatura o coeficiente de cocavidad el cual es una medida de la forma de la curva entre D_{60} y el D_{10} :

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} * D_{10}}$$

$$Cc = \frac{3^2}{9,5 * 1}$$

$$Cc = 0,9474$$

CC BY-NC-ND 4.0

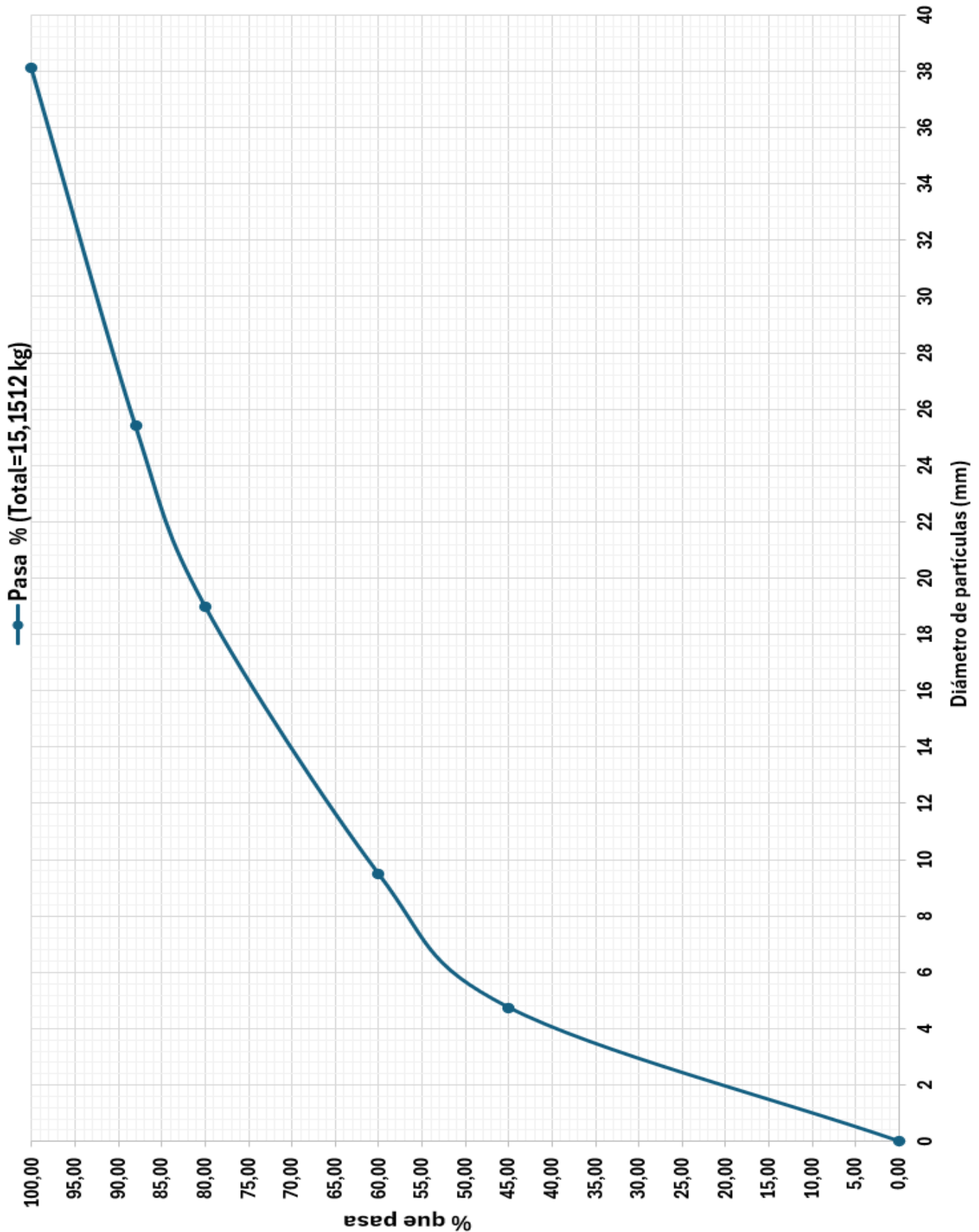


Figura 1: Ejemplo de la curva por tamizado con una muestra de suelo de 15,1512 kg

CC BY-NC-ND 4.0

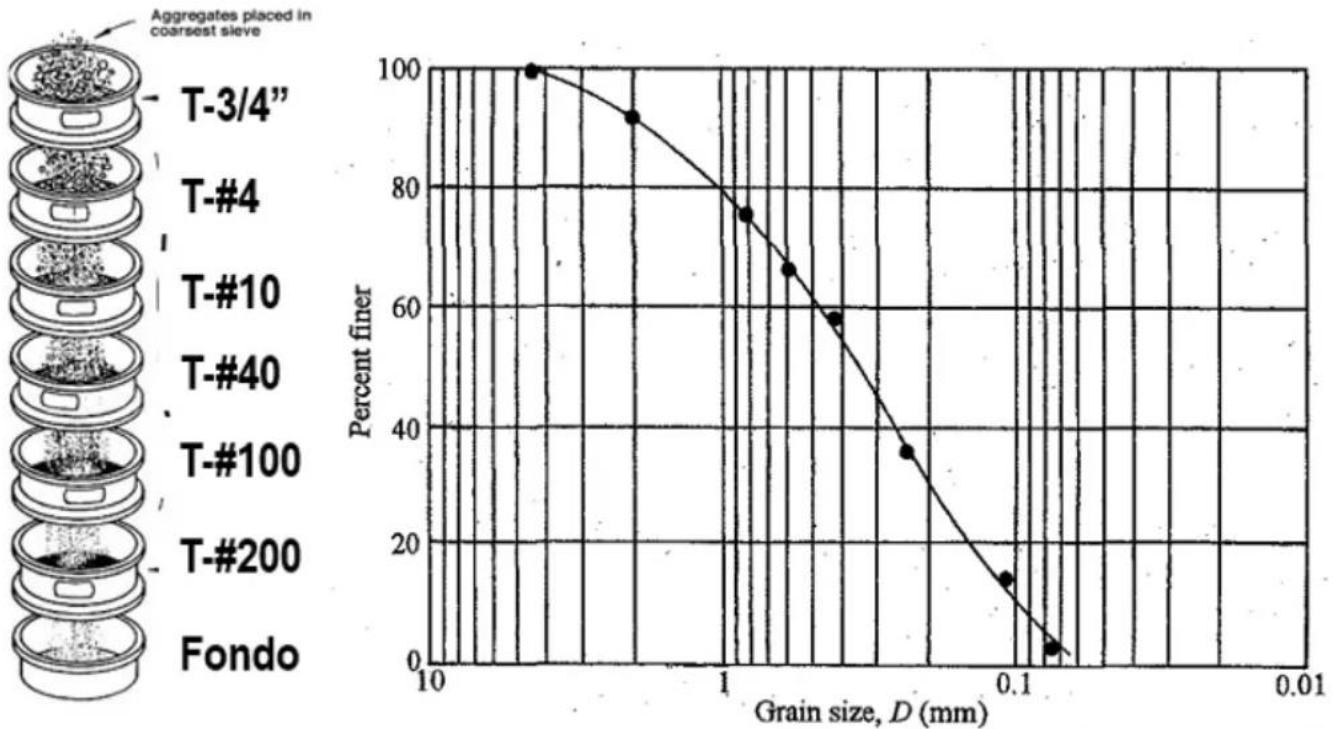


Figura 2: Diagrama de un ejemplo de lo que representa el tamizado de una muestra cualquiera mediante su representación gráfica

Tomado de: (GEO, 2024)

De los 6818 g que pasaron por el tamiz #4 se tomó una submuestra de 200g para realizar la granulometría de material fino.

Cuadro 6: Información

Diámetro	Material Retenido
Mb = 200gr.	
# 10	31.50
# 20	27.60
# 40	29.10
# 60	22.00
# 100	24.00
# 200	19.80
< 200	46.00
Σ	200.00

CC BY-NC-ND 4.0

Calcular y graficar la curva granulométrica

Cuadro 7: Información

Mb = 200gr.					
# 10	31.50	15.75	7.08	61.98	38.02
# 20	27.60	13.80	6.21	68.19	31.80
# 40	29.10	14.55	6.54	74.73	25.30
# 60	22.00	11.00	4.95	79.68	20.32
# 100	24.00	12.00	5.40	85.08	14.92
# 200	19.80	9.90	4.45	89.53	10.47
< 200	46.00	23.00	10.35	99.88	0.12
ã	200.00	solo para 200gr	para la m. total		

Tamaño (mm)	Material (g)	Retenido	Retenido	Pasa
Partículas	Retenido	%	Acumulado (%)	% (200 gramos)
4	0	0,00	0,00	100,00
2	31,5	15,75	15,75	84,25
0,85	27,6	13,80	29,55	70,45
0,425	29,1	14,55	44,10	55,90
0,25	22	11,00	55,10	44,90
0,15	24	12,00	67,10	32,90
0,075	19,8	9,90	77,00	23,00
0	46	23,00	100,00	0,00
Total =	200	100		

De la muestra de 6,818 g de material grueso y fino encontrado en un suelo dado se puede observar de la figura 3 que existe una pendiente muy fuerte desde 0% hasta el porcentaje de 45% que pasa en todas las partículas menores a 0,25 mm aproximadamente y la pendiente disminuye entre los porcentajes que pasan del 45% al 70% que de 0,25 mm hasta 0,85 mm aproximadamente y del 70% al 100% que es desde los 0,25 hasta los 4 mm disminuye mucho más la pendiente.

Por análisis de la curva granulométrica obtenida figura 3 puede determinar que la muestra contiene un 77% de arena (de 0,075 a 4,00 mm), 33% de de limos más arcilla.

Con base en la información generada por la curva de la figura 3 también podemos definir el diámetro efectivo, diámetro 10%, diámetro 30% y el diámetro 60% para determinar así si el suelo es uniforme y su coeficiente de curvatura que serían $D_{10} = 0,035$ mm; $D_{30} = 0,125$ mm y $D_{60} = 0,52$ mm aproximadamente los cuales se pueden utilizar para el cálculo del Cu y el Cc.

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

El coeficiente de uniformidad:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$Cu = \frac{0,52}{0,035} = 14,85$$

Como Cu <15 entonces clasifica como un suelo (de la parte fina) POCO UNIFORME

El coeficiente de curvatura o coeficiente de cocavidad el cual es una medida de la forma de la curva entre D₆₀ y el D₁₀:

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} * D_{10}}$$

$$Cc = \frac{0,125^2}{0,52 * 0,035}$$

$$Cc = 0,8585$$

CC BY-NC-ND 4.0

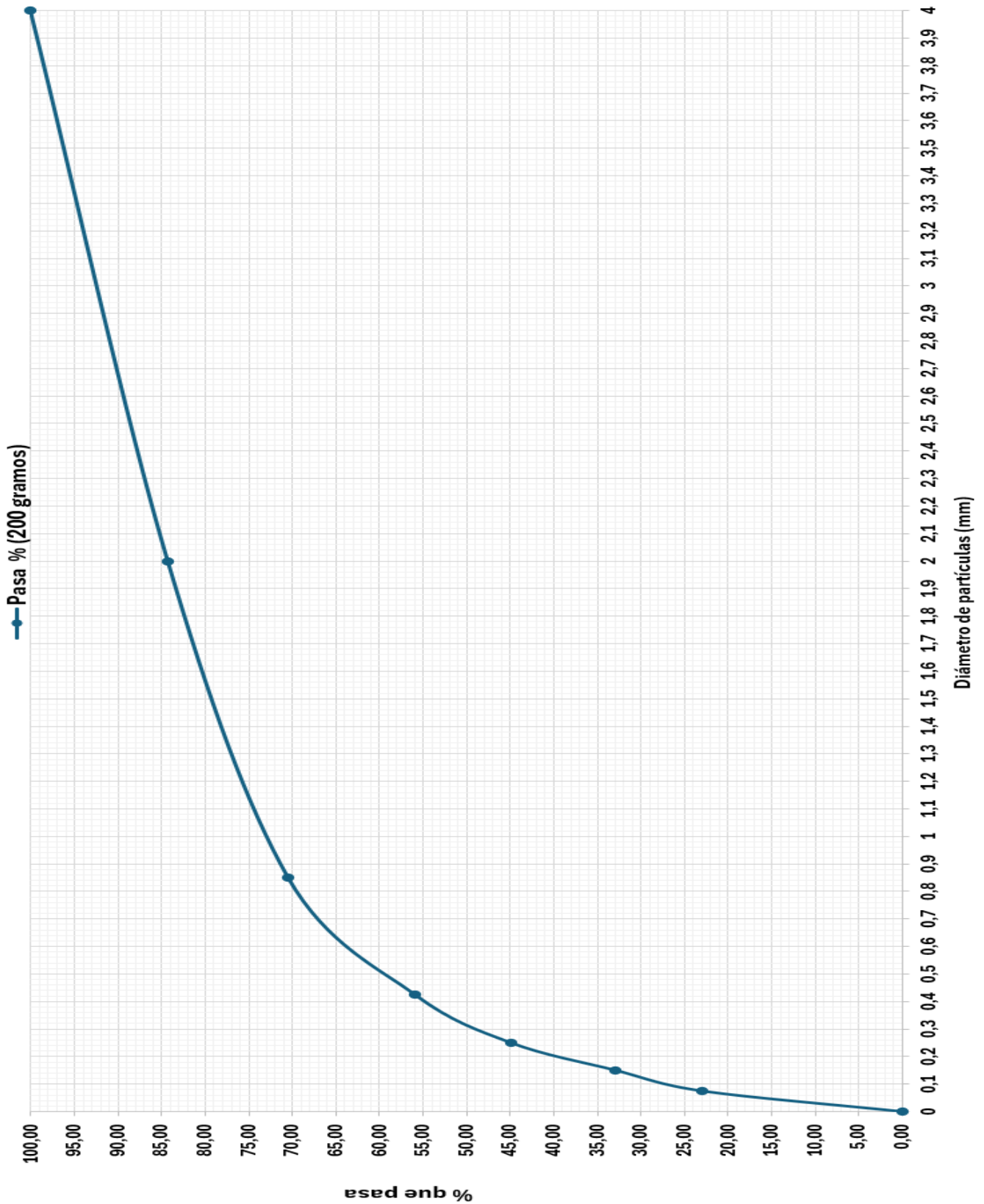


Figura 3: Ejemplo de la curva por tamizado con una muestra de suelo de 200 gramos proveniente del suelo de la parte fina de la muestra de 15,1512 kg

CC BY-NC-ND 4.0

Como se puede observar, del análisis granulométrico se puede obtener la distribución del tamaño de partículas de una muestra dada y el tamaño medio de partículas de dicha muestra y se pueden calcular mediante las siguientes fórmulas:

Tamaño medio de partículas:

$$\bar{X} = \frac{M_1 R_1 + M_2 R_2 + \dots + M_n R_n}{R_1 + R_2 + \dots + R_n}$$

donde

M_1, M_2, \dots, M_n = Tamaño medio de partículas retenidas en cada una de las mallas (μm ó mm)

R_1, R_2, \dots, R_n = Peso (g ó %) retenido en cada una de las mallas

La desviación estándar del tamaño medio de las partículas tenemos:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n R_i (M_i - \bar{X})^2}{(\sum_{i=1}^n R_i) - 1}}$$

M_1, M_2, \dots, M_n = Tamaño medio de partículas retenidas en cada una de las mallas (μm ó mm)

R_1, R_2, \dots, R_n = Peso (g ó %) retenido en cada una de las mallas

Un ejemplo de cálculo de los valores D10, D30 y D60 por medio de fórmulas y no gráficamente se encuentra en la siguiente dirección “<https://www.youtube.com/watch?v=ycw4eeljvtg>” y también se muestran en las figuras 3, 4, 5, 6 y 7:

CC BY-NC-ND 4.0

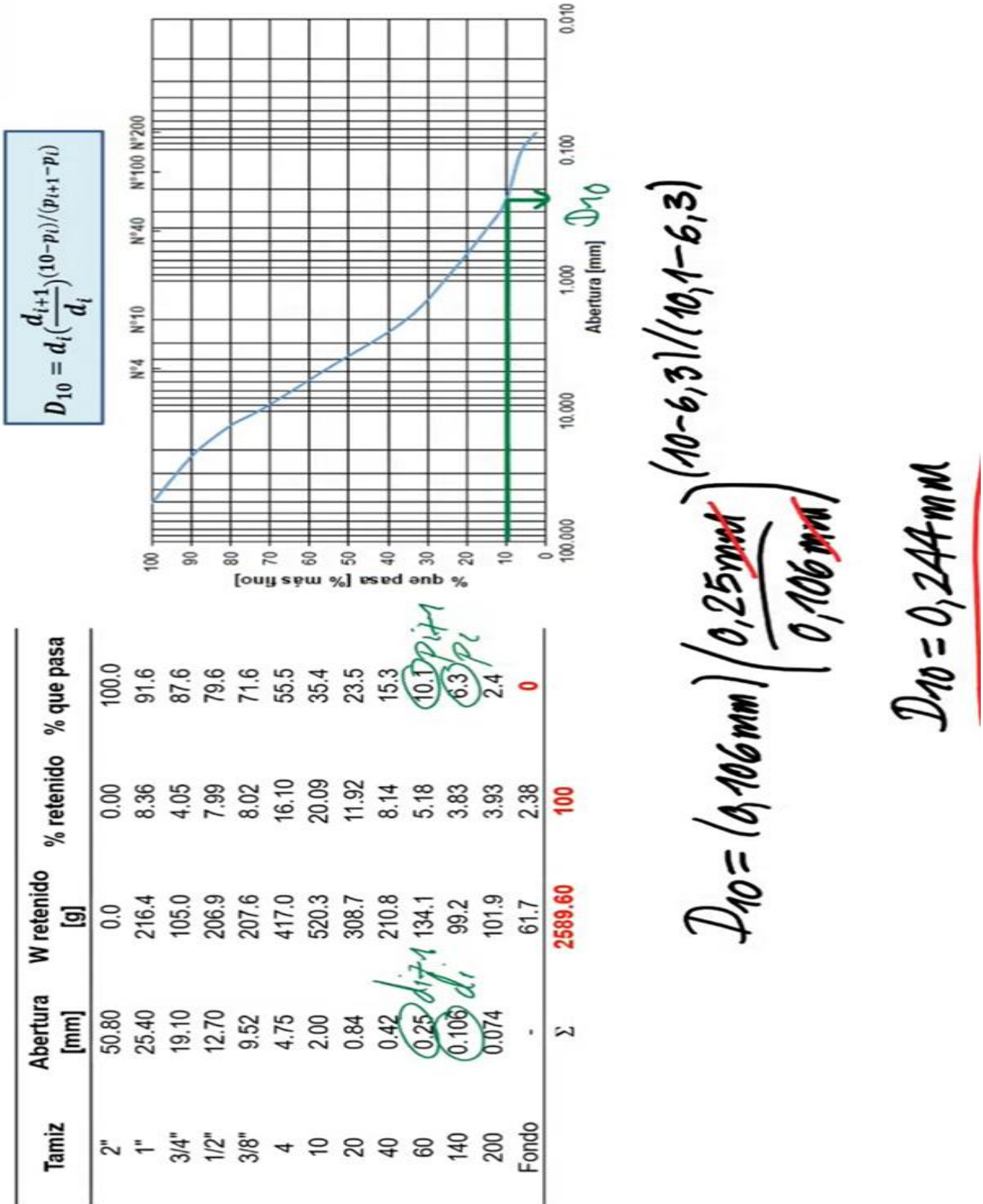


Figura 4: Ejemplo de cálculo del valor D10 por medio de fórmulas y no gráficamente de una prueba de tamizado

CC BY-NC-ND 4.0

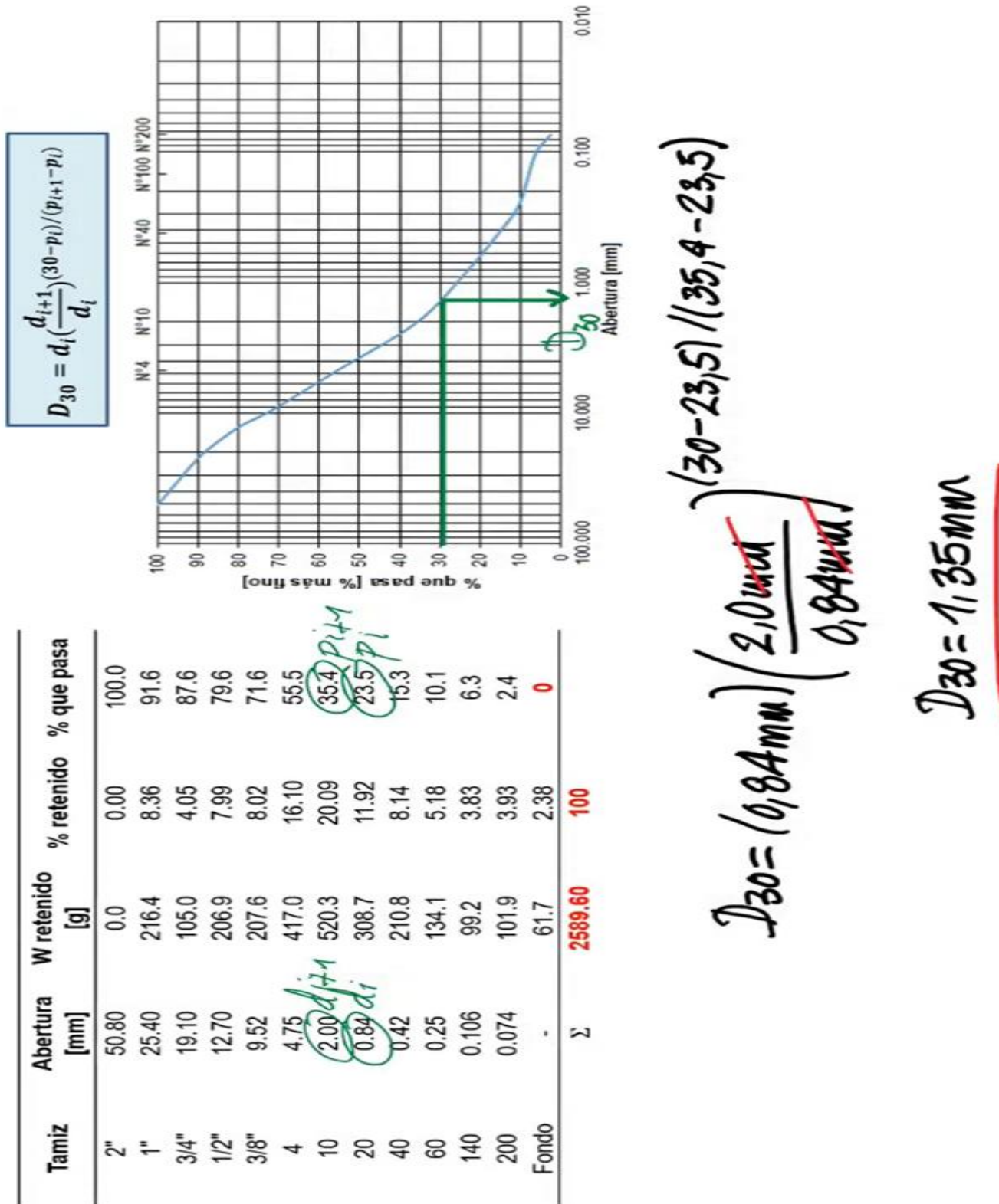


Figura 5: Ejemplo de cálculo del valor D30 por medio de fórmulas y no gráficamente de una prueba de tamizado

CC BY-NC-ND 4.0

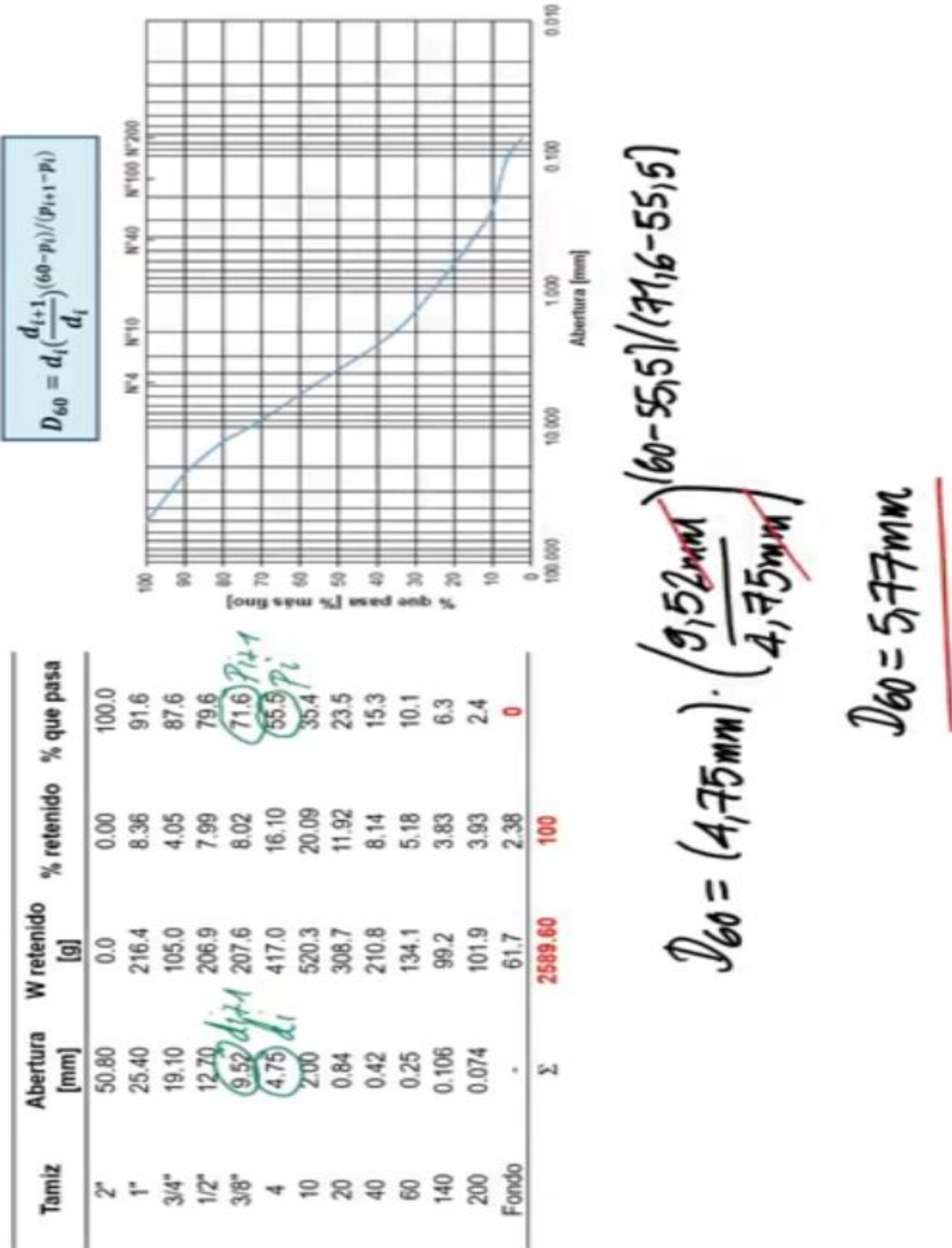


Figura 6: Ejemplo de cálculo del valor D60 por medio de fórmulas y no gráficamente de una prueba de tamizado

CC BY-NC-ND 4.0

Coeficientes de gradación

A partir de los diámetros efectivos se puede calcular el coeficiente de uniformidad [C_u] y curvatura [C_c], para concluir acerca de la gradación del suelo:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{60} \cdot D_{10})}$$

Arena bien gradada [SW]: $C_u > 6$ & $1 < C_c < 3$
 Grava bien gradada [GW]: $C_u > 4$ & $1 < C_c < 3$

D_{60} [mm]	D_{30} [mm]	D_{10} [mm]	C_u	C_c
5,77	1,35	0,244	23,65	1,29

$$C_u = \frac{5,77 \text{ mm}}{0,244 \text{ mm}} ; C_u = 23,65$$

$$C_c = \frac{(1,35 \text{ mm})^2}{5,77 \text{ mm} \cdot 0,244 \text{ mm}} ; C_c = 1,29$$

→ SW

Figura 7: Ejemplo de cálculo de los valores C_u y C_c con datos de D_{10} , D_{30} y D_{60} calculados por medio de fórmulas y no gráficamente de una prueba de tamizado

Clasificación Unificada de suelos (SUCS)

Este sistema fue propuesto por Arturo Casagrande como una modificación y adaptación más general a su sistema de clasificación propuesto en el año 1942 para aeropuertos.

Los suelos deben ser clasificados inicialmente mediante un proceso de tamizado en el análisis granulométrico.

Esta clasificación divide los suelos en:

- Suelos de grano grueso.
- Suelos de grano fino.
- Suelos orgánicos.

Los suelos de granos grueso y fino se distinguen mediante el tamizado del material por el tamiz No.200. Los suelos gruesos corresponden a los retenidos en dicho tamiz y los finos a los que lo pasan, de esta forma se considera que un suelo es grueso si más del 50% de las partículas

CC BY-NC-ND 4.0

del mismo son retenidas en el tamiz No. 200 y fino si mas del 50% de sus partículas son menores que dicho tamiz.

Las iniciales de los nombres en ingles de los seis principales tipos de suelos (grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grano fino y turbas), y que los sufijos indican subdivisiones en dichos grupos:

- 1- Suelos gruesos: se dividen en gravas y arena, y se separan con el tamiz No. 4, de manera que un suelo pertenece al grupo de grava si más del 50% retiene el tamiz No. 4 y pertenecerá al grupo arena en caso contrario.
- 2- Suelos finos: el sistema unificado considera los suelos finos divididos entre grupos: limos inorgánicos (M), arcillas inorgánicas (C) y limos y arcillas orgánicas (O).
- 3- Cada uno de estos suelos se subdivide a su vez según su límite líquido, en dos grupos cuya frontera es $LI = 50\%$. Si el límite líquido del suelo es menor de 50 se añade al símbolo general la letra L (low compresibility). Si es mayor de 50 se añade la letra H (hig compresibility).
- 4- Este sistema utiliza el límite líquido "LL", el límite plástico "LP" y el índice de plasticidad "IP" donde este último es la diferencia de los dos primeros ($IP = LL - LP$). Estos valores se explicarán en su forma de determinación más adelante.

Obteniéndose de este modo los tipos de suelos que se muestran en los cuadros 8, 9 y figuras 8, 9, 10, 11, 12 y 13.

Cuadro 8: Prefijos y sufijos de los tipos de suelo según la carta de plasticidad del Casagrande

Tipo de Suelo	Prefijo	Subgrupo	Sufijo
Grava	G	Bien gradada	W
Arena	S	Pobrementemente gradada	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Límite líquido alto (>50)	L
Turba	Pt	Límite líquido bajo (<50)	H

Como se mencionó, para clasificar los suelos finos utilizando el SUCS, si el porcentaje que pasa supera el 50% en el tamiz #200, se considera un suelo fino. Luego, se emplean los límites

CC BY-NC-ND 4.0

de consistencia del suelo (límite plástico y límite líquido) para determinar el Índice de Plasticidad (IP) y trabajar con la Carta de Plasticidad. Esto nos lleva a cuatro categorías:

- CL: Arcillas de baja compresibilidad
- ML: Limos de baja compresibilidad
- CH: Arcillas de alta compresibilidad
- MH: Limos de alta compresibilidad

Cuadro 9: Prefijos y sufijos de los nombres típicos de los materiales de los suelos

GRUPO	NOMBRES TÍPICOS DEL MATERIAL
GW	Grava bien gradada, mezclas gravosas, poco o ningún fino.
GP	Grava mal gradada, mezclas grava – arena, poco o ningún fino.
GM	Grava limosa, mezclas grava, arena, limo.
GC	Grava arcillosa, mezclas grava – arena arcillosas.
SW	Arena bien gradada.
SP	Arena mal gradada, arenas gravosas, poco o ningún fino.
SM	Arenas limosas, mezclas arena – limo.
SC	Arenas arcillosas, mezclas arena – arcilla.
ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, limo arcilloso, poco plástico, arenas finas limosas, arenas finas arcillosas.
CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras (pulpa)
OL	Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.
MH	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomáceos (ambiente marino, naturaleza orgánica silíceo), suelos elásticos.
CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas gruesas.
OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos.
Pt	Turba (carbón en formación) y otros suelos altamente orgánicos.

Tomado de: (Geomecánica, Capítulo 5, 2016)

También como se mencionó la clasificación de suelos gruesos consiste en observamos el tamiz #200, y si retiene más del 50% del suelo, es clasificado como grueso pero aquí el tamiz #4 cobra relevancia, dividiendo gravas y arenas según el tamaño de partículas. Si la mayoría del suelo se retiene en el tamiz #4, es una grava (G); de lo contrario, es una arena (S). Además, el porcentaje de finos obtenido en el análisis granulométrico es clave:

- a. Porcentaje de finos menor al 5%.

Se debe tener especial atención a la graduación del suelo en el análisis granulométrico con el coeficiente de uniformidad (Cu) propuesto por Allen Hazen y el coeficiente de curvatura (Cc). Para que los suelos gruesos sean considerados como bien graduados depende del tipo de suelo:

- Gravos: $Cu > 6$; $1 \leq Cc \leq 3$
- Arenas: $Cu > 4$; $1 \leq Cc \leq 3$

CC BY-NC-ND 4.0

- GW: Gravas bien graduadas.
 - GP: Gravas mal graduadas.
 - SW: Arenas bien graduadas.
 - SP: Arenas mal graduadas.
- b. Porcentaje de finos mayor o igual al 12%
- Cuando el porcentaje de fino es mayor o igual a un 12%, este suelo fino debe ser clasificado a través de la carta de plasticidad. Generando 4 tipos de suelos diferentes:
- GC: Gravas arcillosas.
 - GM: Gravas limosas.
 - SC: Arenas arcillosas.
 - SL: Arenas limosas.
- c. Porcentaje de finos mayor o igual al 5% y menor al 12%
- Esta clasificación se realiza a través de una combinación de las 2 anteriores, debido a que hay que tener en consideración la graduación del suelo y la clasificación del suelo fino. Esto Hace que el suelo pueda ser clasificado en 8 categorías:
- GW-GC: Gravas bien graduadas arcillosa.
 - GP-GC: Gravas mal graduadas arcillosa.
 - GW-GM: Gravas bien graduadas limosa.
 - GP-GM: Gravas mal graduadas limosa.
 - SW-SC: Arenas bien graduadas arcillosa.
 - SP-SC: Arenas mal graduadas arcillosa.
 - SW-SM: Arenas bien graduadas limosa.
 - SP-SM: Arenas mal graduadas limosa.

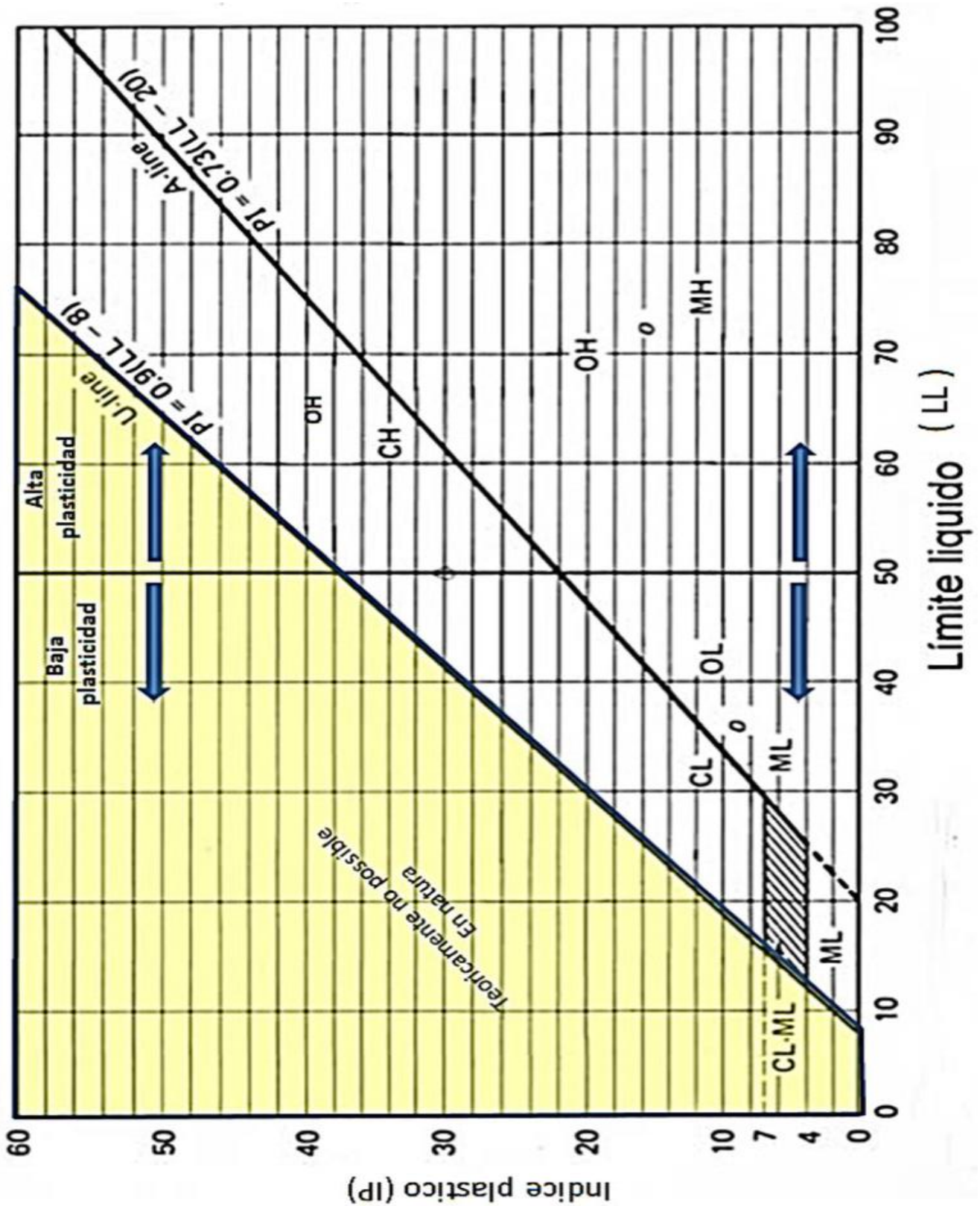


Figura 8: Carta de plasticidad de Casagrande

Tomado de: (Olavarría Bastidas)

CC BY-NC-ND 4.0

GRUPOS		SIMBOLO DE GRUPO	NOMBRE DE GRUPO	CRITERIOS DE CLASIFICACION			
SUELOS DE GRANO GRUESO (mas del 50 % es retenido en el tamiz No 200)	GRAVAS (mas de la mitad de la fracción gruesa es mayor que el tamiz No 4)	Gravas Limpias (menos de 5% de finos)	GW	Grava bien gradada	solo Granulometría	Cu > 4 y 1 < Cc < 3	
			GP	Grava pobremente gradada		Cu < 4 y/ó 1 > Cc > 3	
		Gravas con finos (mas de 12% de finos)	GM	Grava limosa	Los finos se ubican en la zona de LIMOS (ML) en la Carta de Plasticidad de Casagrande		
			GC	Grava arcillosa	Los finos se ubican en la zona de ARCILLA (CL) en la Carta de Plasticidad de Casagrande		
			GC-GM	Grava limosa arcillosa	Simbolo dual: Finos se ubican en la zona de signo doble (CL-ML) de la carta de plasticidad de Casagrande.		
		Gravas con 5 a 12% de finos (simbolo dual)	GW-GM	Grava bien gradada con limo	Granulometría(Cc, Cu) y plasticidad (Carta de Plasticidad) Símbolo dual		
	GW-GC		Grava bien gradada con arcilla				
	GP-GM		Grava pobremente gradada con limo				
	GP-GC		Grava pobremente gradada con arcilla				
	> 50% Ret. Nº 200	ARENAS (mas de la mitad de la fracción gruesa es menor que el tamiz No 4)	Arenas Limpias (poco o ningún fino)	SW	Arena bien gradada	solo Granulometría	Cu > 6 y 1 < Cc < 3
				SP	Arena pobremente gradada		Cu < 6 y/ó 1 > Cc > 3
			Arenas con finos (mas de 12% de finos)	SM	Arena limosa	Los finos se ubican en la zona de LIMOS (ML) en la Carta de Plasticidad de Casagrande	
		SC		Arena arcillosa	Los finos se ubican en la zona de ARCILLA (CL) en la Carta de Plasticidad de Casagrande		
SC-SM		Arena limosa arcillosa		Simbolo dual: Finos se ubican en la zona de signo doble (CL-ML) de la carta de plasticidad de Casagrande.			
Arenas con 5 a 12 % de finos (simbolo dual)		SW-SM	Arena bien gradada con limo	Granulometría(Cc, Cu) y plasticidad (Carta de Plasticidad) Símbolo dual			
		SW-SC	Arena bien gradada con arcilla				
		SP-SM	Arena pobremente gradada con limo				
		SP-SC	Arena pobremente gradada con arcilla				
SUELOS DE GRANO FINO (50 % ó mas pasa el tamiz No 200)	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido < 50%	CL	Arcilla de baja plasticidad	IP >7 y cae en ó sobre la línea A			
		ML	Limo	IP < 4 ó cae bajo la línea A			
		CL-ML	Arcilla limosa	4 ≤ IP ≤ 7. Simbolo dual: Finos se ubican en la zona de signo doble (CL-ML).			
		OL	arcilla ó limo orgánico	Ubicar IP en Carta Plasticidad y verificar que : L.L (secado al horno) / L.L (sin secado al horno) < 0.75			
	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido ≥ 50%	CH	Arcilla de alta plasticidad	IP cae en ó sobre la línea A			
		MH	Limo elástico	IP cae bajo de la línea A			
		OH	arcilla ó limo orgánico	Ubicar IP en Carta Plasticidad y verificar que : L.L (secado al horno) / L.L (sin secado al horno) < 0.75			
Suelos altamente orgánicos	Pt	Turba	Patrón principal de identificación: color oscuro a negro, olor orgánico, textura fibrosa a amorfa. No aplican ensayos				

Figura 9: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos de Casagrande SUCS – ASTM D2487

Tomado de: (25Ju)

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

SÍMBOLO	TIPO DE SUELO	CONDICIONES DE DRENAJE
GW	Gravas y mezclas de arenas bien graduadas con pocos finos o ninguno	Permeable
GP	Gravas y mezclas de arenas mal graduadas con pocos finos o ninguno	Muy Permeable
GM	Gravas limosas y mezclas de gravas y arenas limosas mal graduadas	Semi permeable a Impermeable
GC	Gravas arcillosas y mezclas de gravas y arenas arcillosas mal gradadas	Impermeable
SW	Arenas y arenas gravosas bien graduadas con pocos finos o ninguno	Permeable
SP	Arenas y arenas gravosas mal graduadas con pocos finos o ninguno	Semi permeable a Impermeable
SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduadas	Semi permeable a Impermeable
SE	Arenas arcillosas y mezclas de arenas y arcillas mal graduadas	Impermeable
ML	Limos inorgánicos y arena muy finas, arenas finas limosas y arcillas de baja plasticidad	Semi permeable a Impermeable
CL	Arcillas de baja a media plasticidad, arcillas arenosas, arcillas limosas	Impermeable
OL	Limos orgánicos y mezclas de arcillas y limos orgánicos de baja plasticidad	Semi permeable a Impermeable
MH	Suelos limosos y con arena fina micácea o de diatomeas , suelos limosos	Semi permeable a Impermeable
CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad	Impermeable
OH	Arcillas orgánicas de media a alta plasticidad	Impermeable

Figura 10: Sistema Sistema Unificado de Clasificación de Suelos de Casagrande y su condición de drenaje

Tomado de: (Universidad Nacional de la Plata - Facultad de Arquitectura y Urbanismo, 2013)

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -
 Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

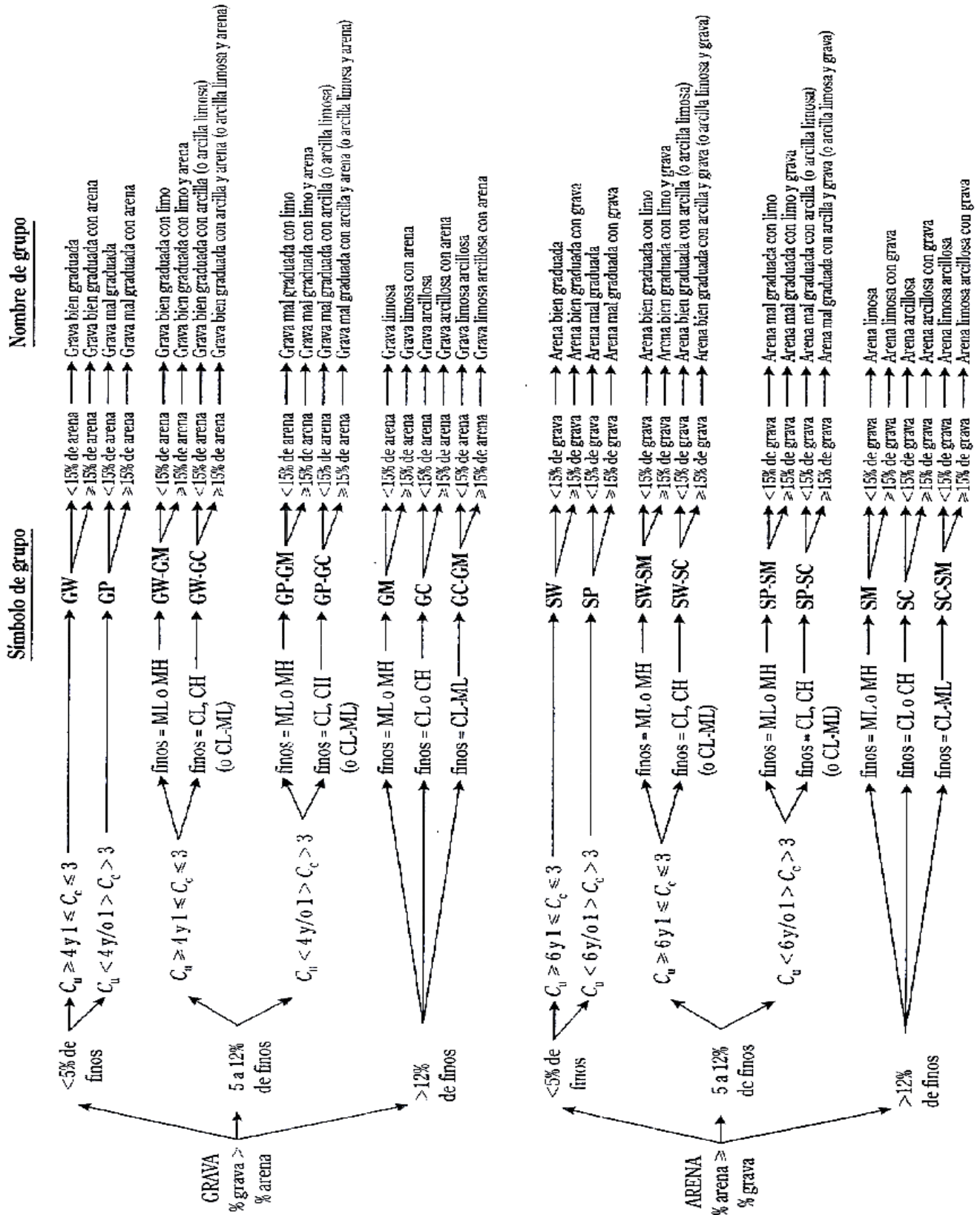


Figura 11: Diagrama de flujo para la clasificación de partículas gruesas (SUCS ASTM D2487) Tomado de: (Matus Lazo & Blanco Rodríguez)

CC BY-NC-ND 4.0

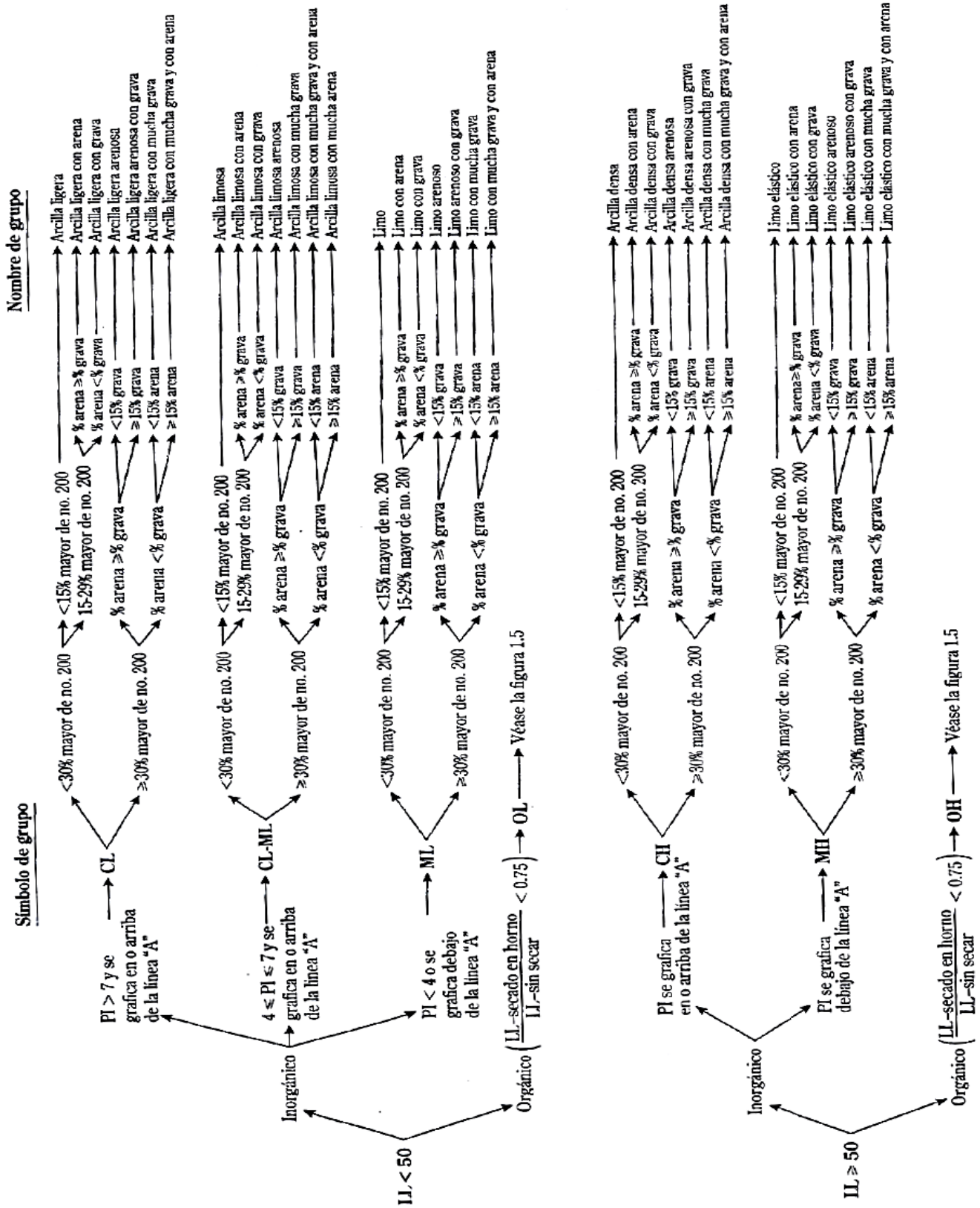


Figura 12: Diagrama de flujo para la clasificación de partículas finas (SUCS ASTM D2487) Tomado de: (Matus Lazo & Blanco Rodríguez)

CC BY-NC-ND 4.0

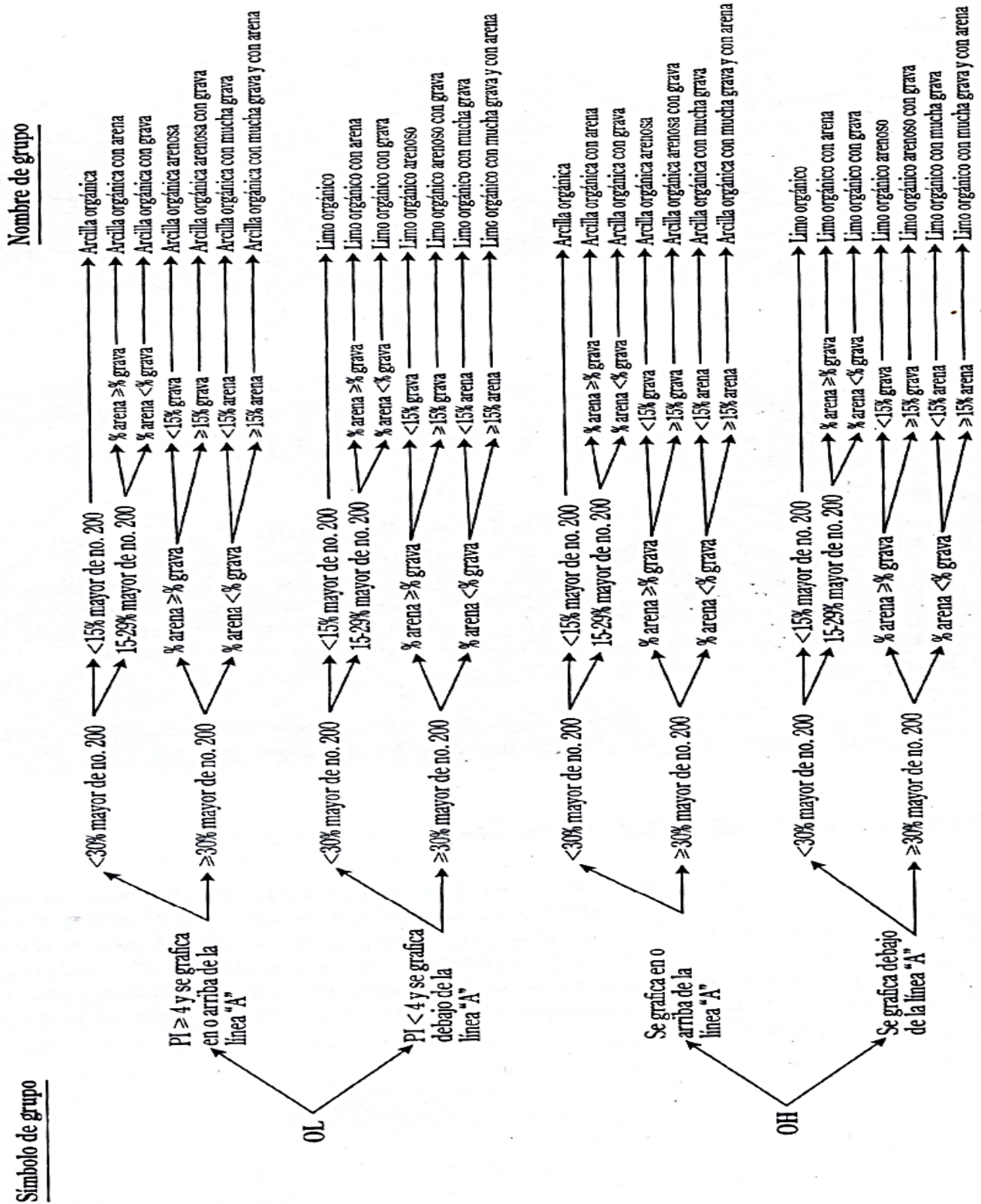


Figura 13: Diagrama de flujo para la clasificación de suelos orgánicos de partículas finas (SUCS ASTM D2487)

Tomado de: (Matus Lazo & Blanco Rodríguez)

CC BY-NC-ND 4.0

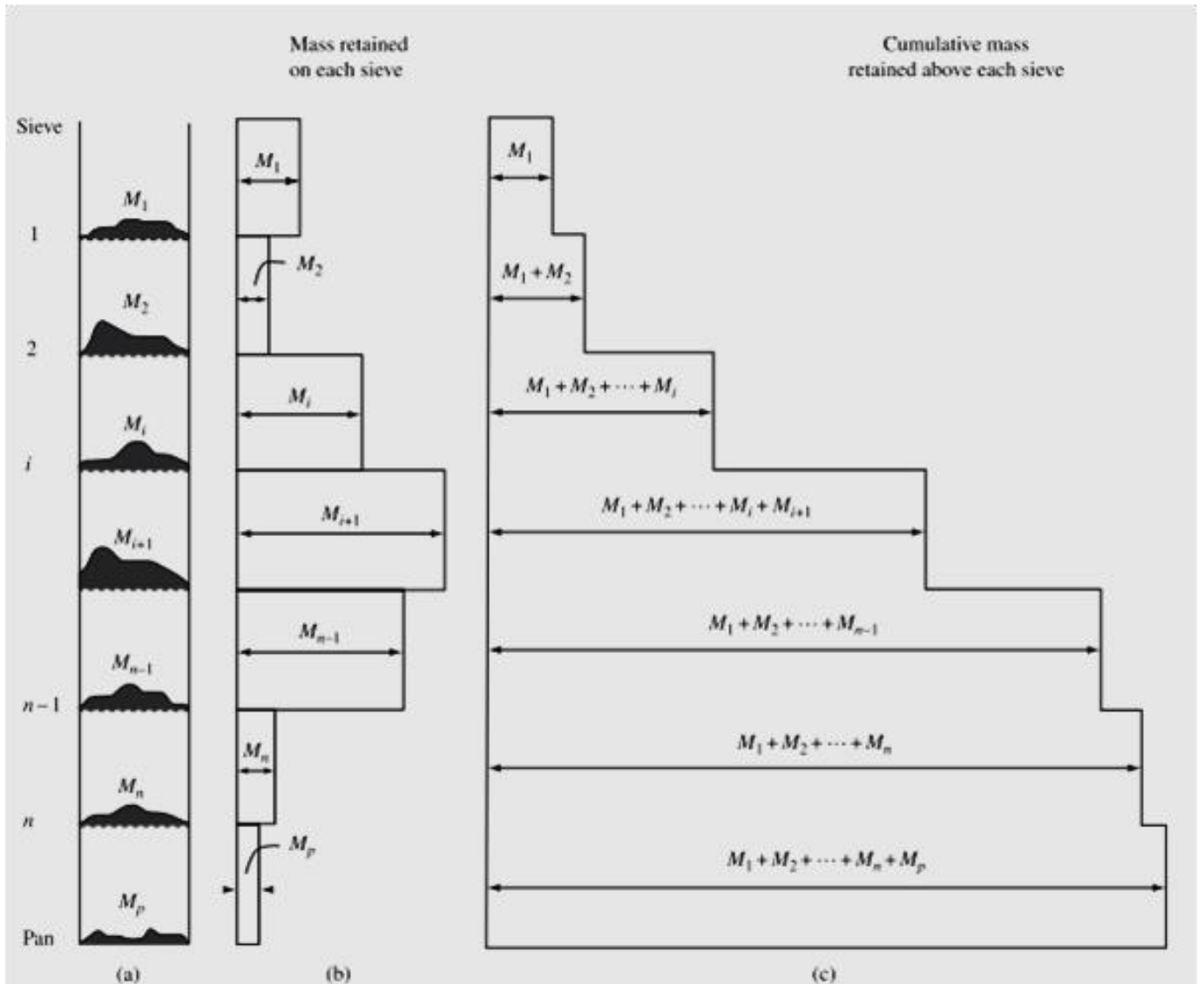
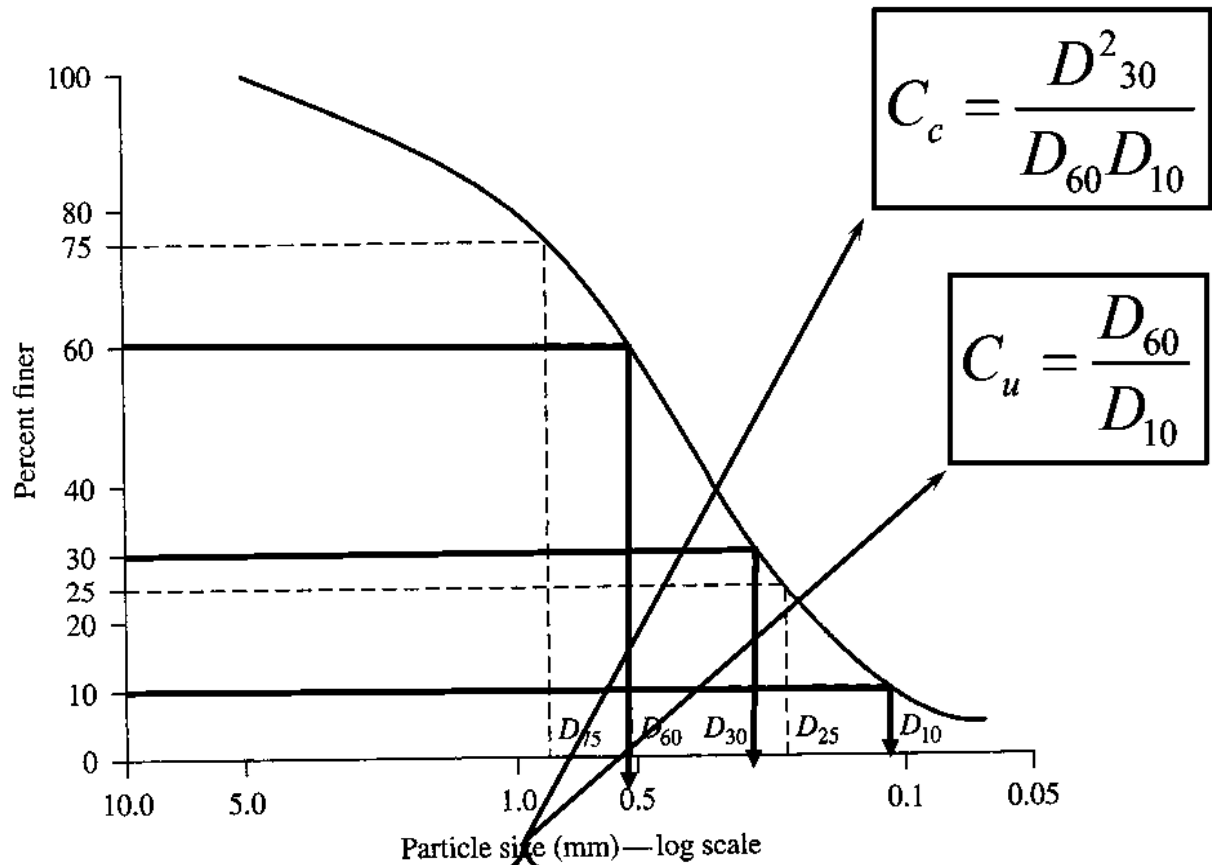


Figura 14: Ejemplo de distribución o del comportamiento de las muestras al pasar le criba
Tomado de: (Das)

CC BY-NC-ND 4.0



Podemos definir D_{10} , D_{30} y D_{60}

Figura 15: Definición gráfica de los valores de D_{10} , D_{30} y D_{60} en escala logarítmica

Tomado de: (Das)

CC BY-NC-ND 4.0

Criterios para la asignación de símbolos de grupo y nombre de grupo con el uso de ensayos de laboratorio		Clasificación de suelos	
		Símbolo de grupo	Nombre del grupo
	Gravas limpias Menos del 5% pasa la malla No. 200	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	GW Grava bien graduada
	Gravas con finos Mas del 12% pasa la malla No. 200	$Cu < 4$ y $1 > Cc > 3$	GP Grava mal graduada
Gravas Mas del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla No. 4	Gravas limpias y con finos Entre el 5 y 12% pasa malla No.200	IP < 4 o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM Grava limosa
		IP > 7 o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC Grava arcillosa
		Cumple los criterios para GW y GM	GW-GM Grava bien graduada con limo
		Cumple los criterios para GW y GC	GW-GC Grava bien graduada con arcilla
Suelos de partículas gruesas mas del 50% es retenido en la malla No. 200	Arenas limpias Menos del 5% pasa la malla No. 200	Cumple los criterios para GP y GM	GP-GM Grava mal graduada con limo
		Cumple los criterios para GP y GC	GP-GC Grava mal graduada con arcilla
		$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	SW Arena bien graduada
		$Cu < 6$ y $1 > Cc > 3$	SP Arena mal graduada
Arenas El 50% o mas de la fracción gruesa pasa la malla No. 4	Arenas con finos Mas del 12% pasa la malla No. 200	IP < 4 o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM Arena limosa
		IP > 7 o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC Arena arcillosa
		Cumple los criterios para SW y SM	SW-SM Arena bien graduada con limo
		Cumple los criterios para SW y SC	SW-SC Arena bien graduada con arcilla
Limos y arcillas Limite Liquido menor que 50	Inorgánicos	Cumple los criterios para SP y SM	SP-SM Arena mal graduada con limo
		Cumple los criterios para SP y SC	SP-SC Arena mal graduada con arcilla
		IP > 7 y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CL Arcilla de baja plasticidad
		IP < 4 y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	ML Limo de baja plasticidad
Suelos de partículas finas El 50% o mas pasa la malla No. 200	Orgánicos	Limite liquido - secado al horno < 0.75	OL Arcilla orgánica
		limite liquido - no secado	OL Limo orgánico
Limos y arcillas Limite Liquido mayor que 50	Inorgánicos	IP > 7 y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CH Arcilla de alta plasticidad
		IP < 4 y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	MH Limo de alta plasticidad
		Limite liquido - secado al horno < 0.75 limite liquido - no secado	OH Arcilla orgánica
Suelos altamente orgánicos	Principalmente materia orgánica de color oscuro	PT	Turba

Figura 16: Sistema Unificado de Clasificación de los suelos (SUCS)

CC BY-NC-ND 4.0

Material que pasa la malla N°4							
Malla N°	Peso del suelo retenido	Porcentaje retenido parcial	Porcentaje que pasa	Malla N°	Peso del suelo retenido	Porcentaje retenido parcial	Porcentaje que pasa
	gr	%	%		gr	%	%
3"	0.00			10	54.0	16.2	44.0
2"	0.00			20	39.0	11.7	32.3
1 1/2"	157	1.1	98.9	40	40.4	12.2	20.1
1"	395	2.7	96.2	60	17.8	5.4	14.7
3/4"	563	3.8	92.4	100	19.5	5.9	8.8
1/2"	1179	8.0	84.4	200	13.7	4.1	4.7
3/8"	649	4.4	80.0	Pasa N° 200	15.6	4.7	0
N° 4	2910	19.8	60.2	SUMA	200	60.2	
Pasa N° 4	8864	60.2					
SUMA	14714	100					

Figura 17: Ejemplo de medidas y cálculos desués de el paso en los tamises
Tomado de: (Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), 2011)

CC BY-NC-ND 4.0

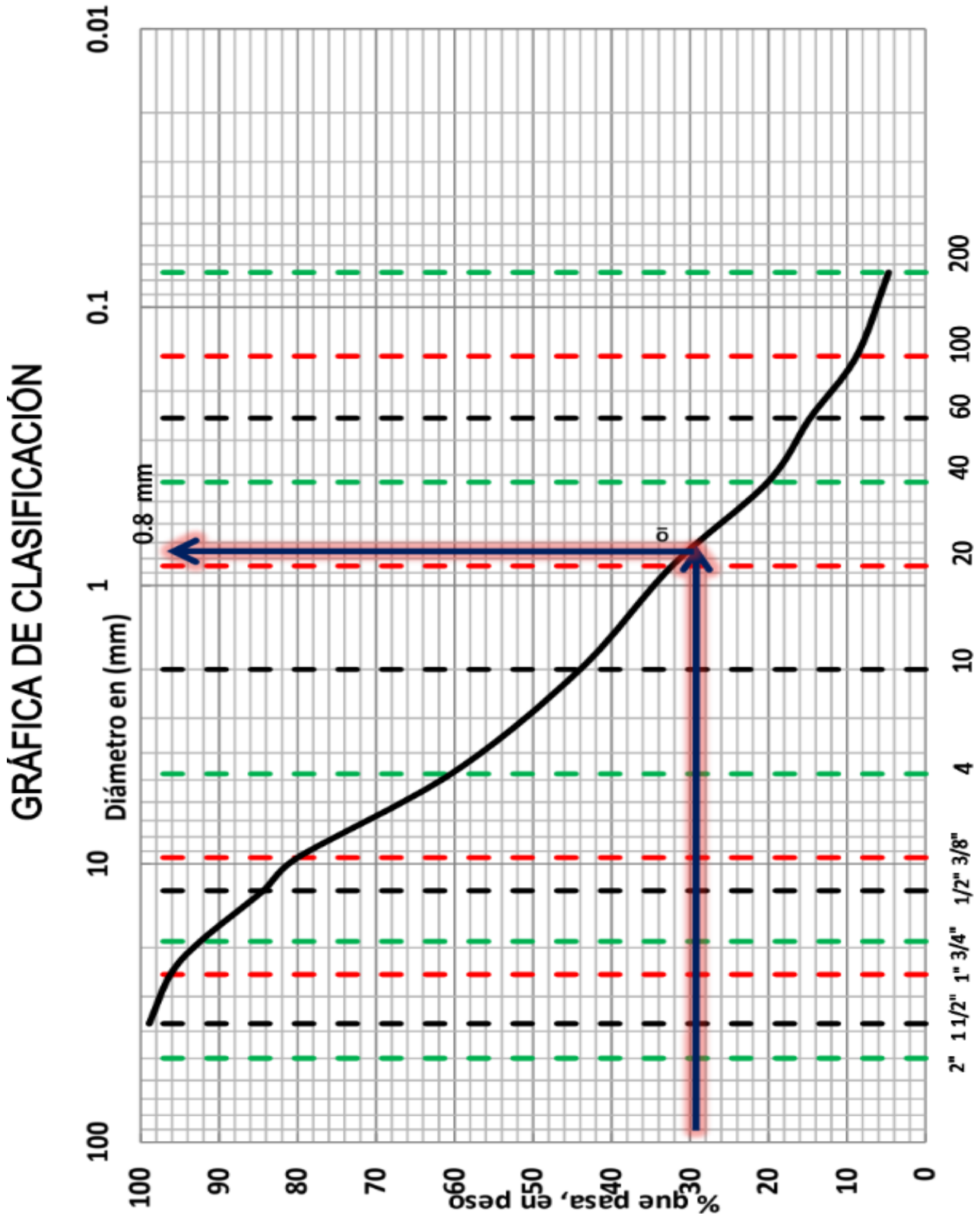


Figura 18: Ejemplo de un gráfico para estimar el valor del diámetro D_{30} y así para cualquier diámetro

Tomado de: (Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), 2011)

CC BY-NC-ND 4.0

Material que pasa la malla N°4							
Malla N°	Peso del suelo retenido	Porcentaje retenido parcial	Porcentaje que pasa	Malla N°	Peso del suelo retenido	Porcentaje retenido parcial	Porcentaje que pasa
	gr	%	%		gr	%	%
3"				10			
2"				20			
1 1/2"				40			
1"				60			
3/4"				100			
1/2"				200			
3/8"				Pasa N° 200			
N° 4				SUMA			
Pasa N° 4							
SUMA							

Figura 19: Ejemplo de las medidas de los tamices a utilizar para las medidas de las muestras Tomado de: (Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), 2011)

CC BY-NC-ND 4.0

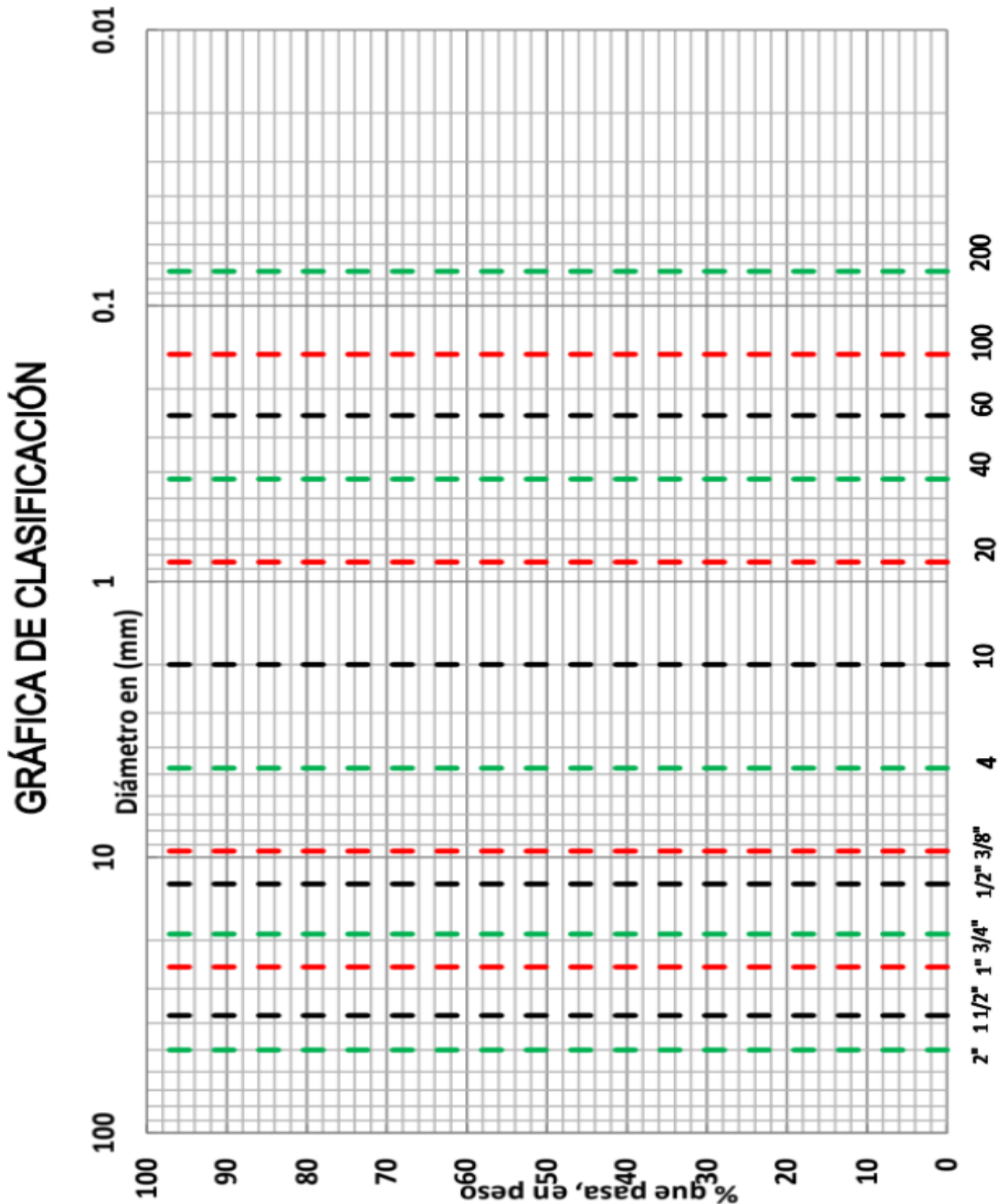


Figura 20: Ejemplo de un gráfico para estimar el valor de los diámetros para cualquier diámetro

Tomado de: (Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), 2011)

CC BY-NC-ND 4.0

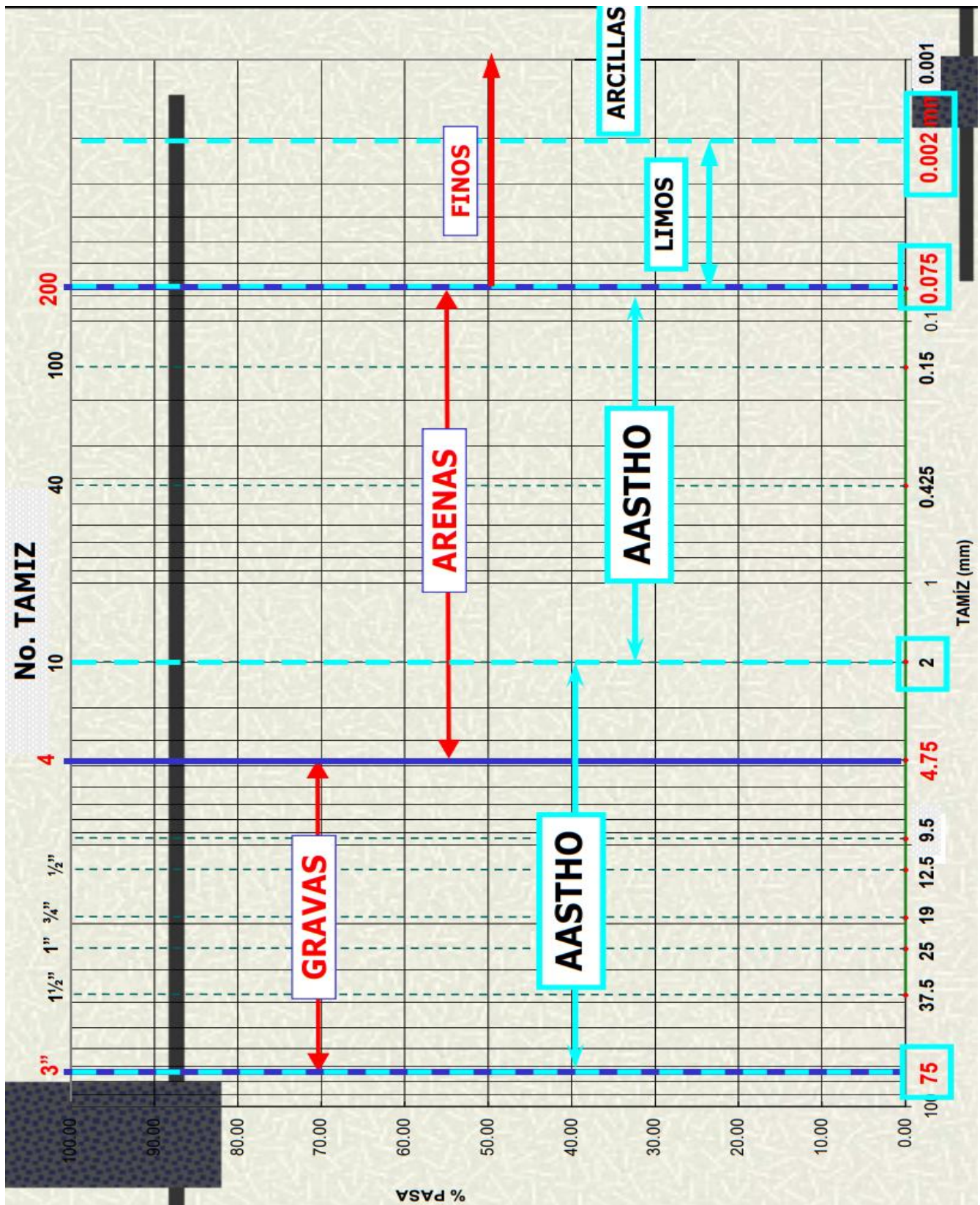


Figura 21: Ddefinición de los tamaños de las partículas del suelos (mm) (USCS-AASHTO)
 Tomado de: (Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), 2011)

CC BY-NC-ND 4.0



U. N. A. M.
Facultad de Ingeniería
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
CLASIFICACION DE SUELOS
GRANULOMETRIA POR MALLAS

FORMATO N° 2

OBRA _____ LOCALIZACION _____ ENSAYE No. _____ SONDEO No. _____ MUESTRA No. _____ PROF _____ DESCRIPCION _____ FECHA _____ OPERADOR _____ CALCULO _____	PESO DE LA MUESTRA (g) _____ RECIPIENTE No. PARA OBTENER $\omega\%$ _____ PESO RECIP + SUELO HUMEDO (g) _____ PESO RECIP + SUELO SECO (g) _____ PESO AGUA (g) _____ PESO RECIPIENTE (g) _____ PESO DE SUELO SECO (g) _____ $\omega\% =$ _____
--	--

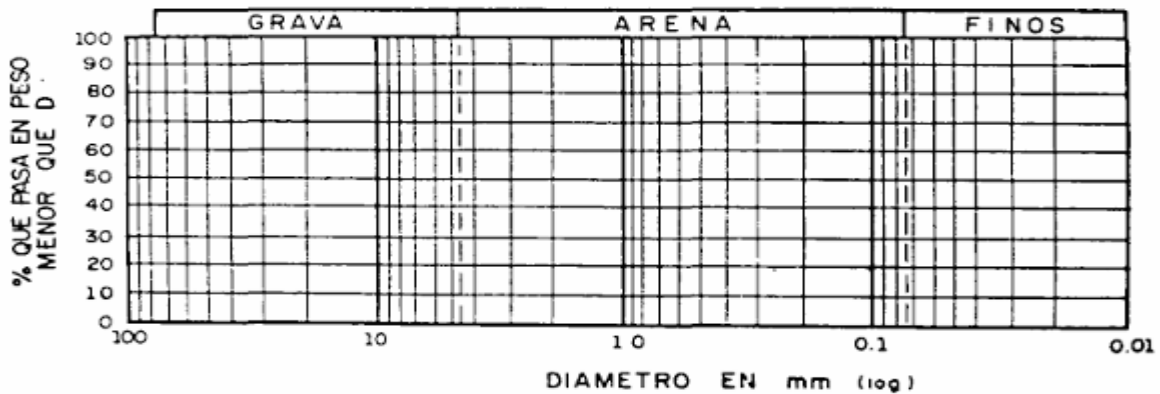
MALLA	ABERTURA	PESO MALLA	PESO MALLA + SUELO RE	PESO SUELO RET.	RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA MENOR Q D
Nº	mm	g	g	g	%	%
3"	76.20					
2"	50.80					
1 1/2"	36.10					
1"	25.40					
3/4"	19.05					
1/2"	12.70					
3/8"	9.52					
4	4.76					
8	2.38					
18	1.00					
30	0.59					
50	0.297					
100	0.149					
200	0.074					
SUMA						

>3" = _____ %
 G = _____ %
 S = _____ %
 F = _____ %

$D_{10} =$ _____ mm
 $D_{30} =$ _____ mm
 $D_{60} =$ _____ mm

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{\quad}{\quad} = \quad$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}} = \frac{\quad}{\quad} = \quad$$



CLASIFICACION DE LA PORCION GRUESA: _____

OBSERVACIONES: _____

Figura 22: Ejemplo de las medidas de la granulometría por medio de los tamices a utilizar para las medidas de las muestras

Tomado de: (Facultad de Ingeniería UNAM - División de Educación Continua, 2003)

CC BY-NC-ND 4.0

Utilización del cálculo de la granulometría por tamizado para determinar el ascenso capilar

Tiene muchas aplicaciones de uso pero veremos al menos dos usos muy importantes que son al ascenso capilar y la estimación de la conductividad hidráulica.

1- Ascenso capilar

El cálculo de los D10, D30, D60 y D90 o cualquier otro es muy importante para la estimación del ascenso capilar (figuras 23, 24, y 25) en lo suelos ya que es utilizado en modelos matemáticos. Como ejemplo de esto es el modelo de Peck y otros, el cual es una relación empírica para calcular la altura máxima del ascenso capilar teniendo en cuenta los vacíos de los suelos donde se toma en cuenta el D10 y una constante C (GARCIA CABALLERO & VÁSQUEZ QUINTERO, 2023).

$$hc = \frac{c}{e * D10}$$

donde:

hc = máximo ascenso capilar en el suelo

c = es una constante que está entre 10 y 50 mm²

D10 = diámetro efectivo con el 10% que pasa (como se vio anteriormente)

e = índice de vacíos

Valores del coeficiente C en mm² (Crespo, 2001).

C mm ²	Forma de las partículas					
	Redondeada			Rugosa		
	10	20	30	40	50	60
	Limpio			Sucio		

Tomado de: (Mecánica de suelos I)

e = Índice de vacíos (Vol_{poros} / Vol_{sólidos})

Y la porosidad se define de la siguiente manera:

Porosidad = P = n = Vol_{poros} / Vol_{total}

De lo anterior podemos relacionar que:

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

$$e = \frac{n}{1-n}$$

$$n = \frac{e}{e+1}$$

La demostración de las fórmulas anteriores son las siguientes:

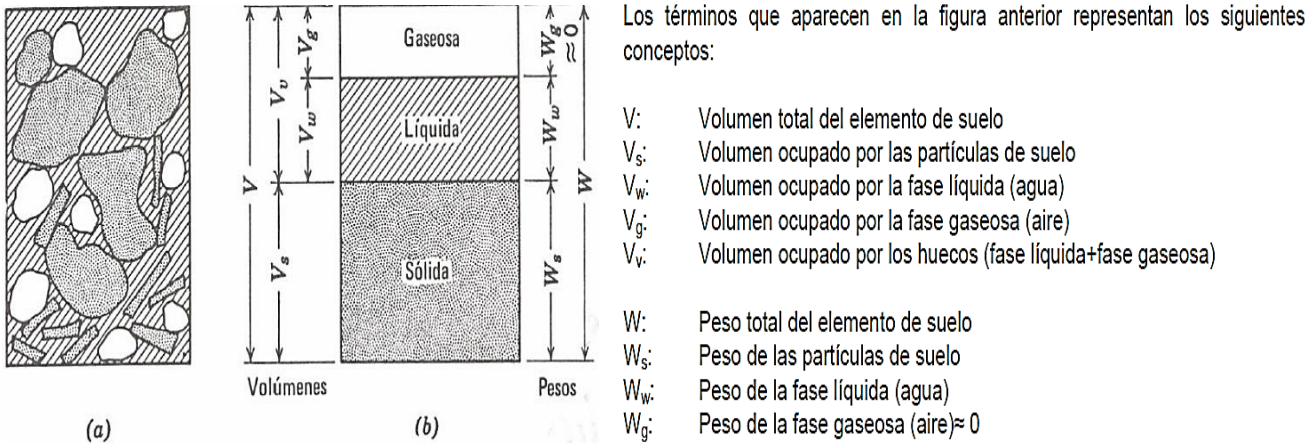


Figura 23: Relaciones de masas y vacíos en el suelo

Tomado de: (Das)

Relaciones en volumen

Las relaciones entre el índice de huecos y la porosidad son las siguientes:

Índice de huecos o poros: $e = \frac{V_v}{V_s}$

Porosidad: $n = \frac{V_v}{V}$

Grado de saturación: $S = \frac{V_w}{V_v}$

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_v}{V - V_v} = \frac{\frac{V_v}{V}}{\frac{V - V_v}{V}} = \frac{n}{1-n}$$

$$n = \frac{V_v}{V} = \frac{V_v}{V_s + V_v} = \frac{\frac{V_v}{V_s}}{\frac{V_s}{V_s} + \frac{V_v}{V_s}} = \frac{e}{1+e}$$

De las relaciones anteriores se han obtenido los siguiente valores de referencia reflejado en el siguiente cuadro y la siguiente figura:

Rango aproximado de ascenso capilar en suelos (Das, 1998).

Tipo de suelo	Ascenso capilar en m
Arena gruesa	0.12 - 0.18
Arena fina	0.3 - 1.2
Limo	0.76 - 7.6
Arcilla	7.6 - 23

Figura 24: Valores de la constante C

Tomado de: (Mecánica de suelos I)

CC BY-NC-ND 4.0

Dos curvas (Figura 25) que han sido determinadas experimentalmente de la observación del ascenso capilar en diversos suelos. A la altura h_{cs} , se la llama altura de saturación capilar y puede ser determinada con la figura para lo cual, debe ingresarse a la figura con un valor del diámetro efectivo (D_{10}) en milímetros, luego de interceptar a la curva deseada, entonces se tendrá una aproximación del ascenso capilar correspondiente.

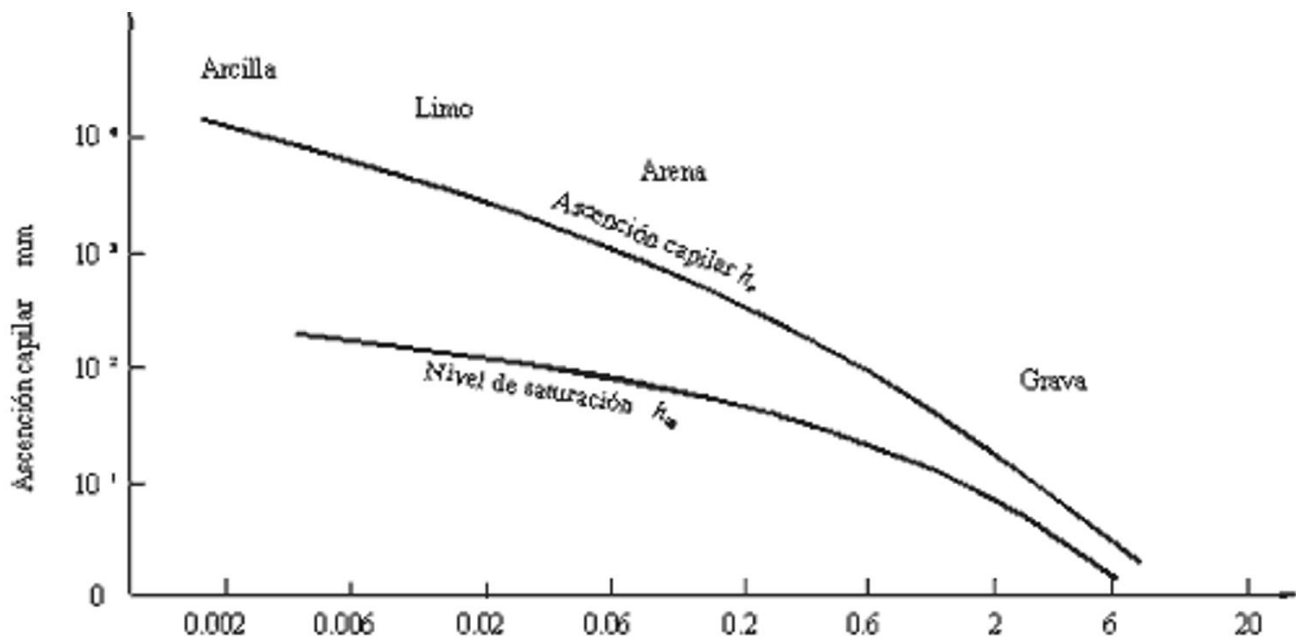
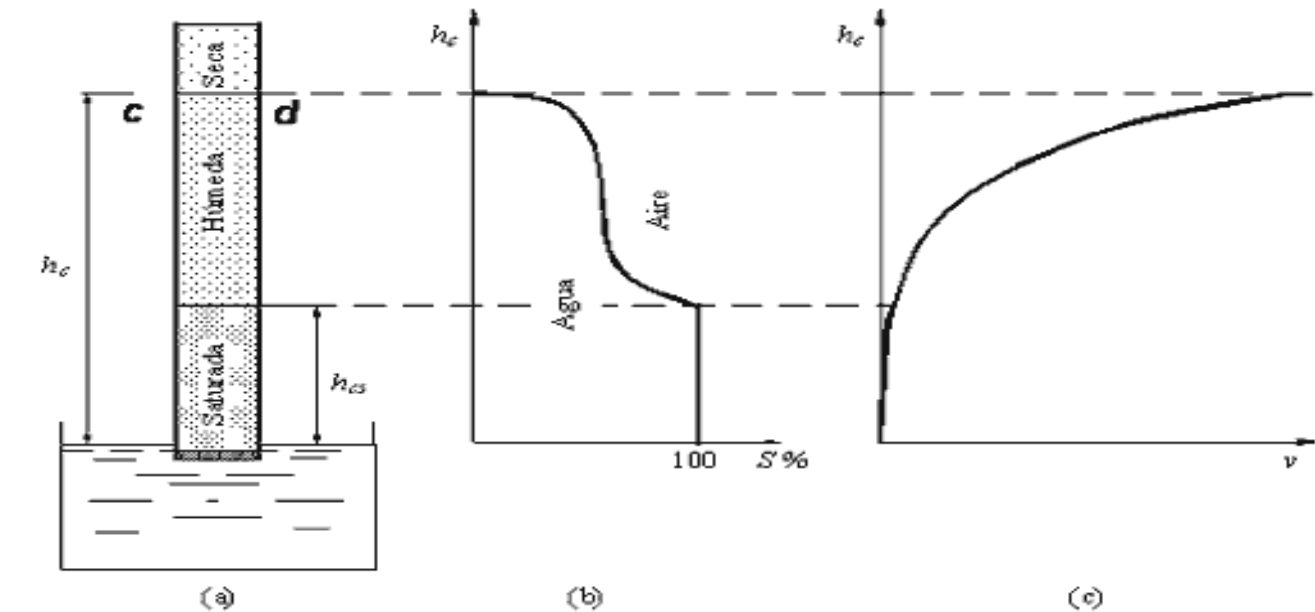


Figura 25: Esquema del ascenso capilar en el suelo

Tomado de: (Mecánica de suelos I)

El agua ascenderá capilarmente a partir del nivel freático y saturará todos los espacios vacíos hasta una altura h_{cs} con respecto al nivel freático. **El máximo ascenso capilar se registrará**

CC BY-NC-ND 4.0

a una altura h_c . Al igual que en los tubos, mientras más pequeñas sean las partículas del suelo, mayor será el ascenso capilar.

Lane et al. (1946) realizaron pruebas de ascenso capilar en tubos abiertos utilizando suelos no cohesivos como grava con presencia de arcilla. Los autores relacionaron los valores experimentales con los valores predichos por la ecuación de Terzaghi (1943).

$$h_c(mm) = -990 \ln D_{10} - 1540$$

Tomado de C (GARCIA CABALLERO & VÁSQUEZ QUINTERO, 2023).

2- Conductividad hidráulica

En una masas de suelo, los canales a través de los cuales circula el agua tienen una sección transversal muy variable e irregular. Por ello la velocidad real de circulación es extremadamente variable. Sin embargo, la velocidad media obedece a las mismas leyes que determinan el escurrimiento del agua en los tubos capilares rectos de sección constante. Como el diámetro medio de los cvacios de un suelo con una porosidad dada aumenta prácticamente en relación directa con el diámetro "D" de las partículas es posible expresar k en función de D, toamdo como base la Ley de Poiseuille.

$$k = C * D^2$$

Donde distintos autores han estudiado el valor que puede tomar la constante "C" en la ecuación anterior y por ello se teien algunos autores con fórmulas empíricas como las siguientes:

Fórmula de Allen Hazen

Para el caso de arenas sueltas muy uniformes para filtros (coeficiente de uniformidad ≤ 2), Allen-Hazen obtuvo la siguiente ecuación empírica para calcular el coeficiente de permeabilidad:

$$k = C \cdot D_{10}^2 \quad [\text{cm/seg}]$$

Donde: $100 \leq C_1 \leq 150$

D_{10} : tamaño efectivo en cm.

- Corrección por temperatura ^{[4] [8]}

$$k = C \cdot (0.7 + 0.03 \cdot t) \cdot D_{10}^2 \quad [\text{cm / seg}]$$

CC BY-NC-ND 4.0

Fórmula de Schlichter

Introduce a la fórmula de Allen Hazen una corrección por compacidad, en función de la porosidad η

$$k = 771 \cdot \frac{D_{10}^2}{C} \cdot (0.7 + 0.03 \cdot t) \quad [\text{cm/seg}]$$

TABLA IV

η	0.26	0.38	0.46
C	83.4	24.1	12.8

Fórmula de Terzaghi

Terzaghi en su fórmula para el cálculo del coeficiente de permeabilidad introduce una constante que tiene en cuenta la porosidad y el tipo de suelo, como se muestra en la ecuación

$$k = C_1 \cdot D_{10}^2 \cdot (0,7 + 0,03 \cdot t) \quad [\text{cm/seg}]$$

Donde $C_1 = C_0 \cdot \left(\frac{n - 0,13}{\sqrt[3]{1 - n}}\right)^2$

n : porosidad

C_0 : coeficiente que depende del suelo

Suelo	C_0
Arena grano redondeado	800
Arena grano anguloso	460
Arena con limos	< 400

Tomado de: (Angelone, Garibay, & Cauhapé, 2006)

CC BY-NC-ND 4.0

3- Granulometría por sedimentación (llamado normalmente Textura del suelo)

Introducción

La textura del suelo es la relación porcentual de las partículas minerales menores en tamaño a 2,0 mm que corresponden a las arenas, limos y arcillas, cuya distribución de dichas partículas minerales se realiza según su tamaño.

La importancia de su determinación reside en su uso para describir e identificar perfiles y en mapeo de suelos. También para pronosticar de manera general propiedades químicas como la capacidad de intercambio catiónico (CIC), y propiedades físicas como retención de humedad del suelo, consistencia del suelo, velocidad de infiltración, erodabilidad del suelo entre otros.

La textura puede determinarse por varios métodos y entre los más conocidos se encuentra el tacto, por el método de la pipeta, el método del hidrómetro modificado por Day, el método del Comité sobre Análisis Físicos de la Sociedad de la Ciencia del Suelo de los Estados Unidos (USDA) que adoptó un método semejante al de Day, ya que usó el cálculo de Casagrande, **una concentración de suspensión máxima de 40 g/l y el hidrómetro tipo ASTM-152H; y por el método del hidrómetro de Bouyoucos**. Este método es un proceso de sedimentación de las partículas de arena, limo y arcilla a diferentes tiempos midiéndose durante el proceso la concentración de sólidos en suspensión con un densímetro ASTM 152H (gramos de sólidos en suspensión / litro de la mezcla en suspensión) (g/l).

El densímetro fue graduado para indicar los gramos de sólidos suspendidos por litro de la mezcla a una temperatura dada (19.4°C) suponiendo que el medio de suspensión sea agua pura. Además, este ha sido graduado a una escala para indicar la concentración en suspensión de suelo en una escala de 0 a 60 g/l, asumiendo una densidad de partículas de suelo de 2,65 g/ml, usando agua pura como medio de suspensión.

La densidad de la fase líquida se afectará con las variaciones de temperatura y con la presencia de los agentes reactivos agrupados al suelo, para los cuales existen tablas y ecuaciones de corrección por temperatura.

Se utiliza la ley de Stoke para calcular la velocidad de sedimentación de las partículas. Se pueden presentar algunos errores en las lecturas del hidrómetro. Por ejemplo, según la Ley de Stoke, la viscosidad del agua afecta la tasa de sedimentación y cambia aproximadamente en un 12% por cada 10 grados Celsius de temperatura. Otro error es cuando el hidrómetro está superficialmente sumergido, esto porque la concentración de la suspensión cambia con rapidez en las capas superficiales, lo cual se corrige tomando una cantidad de suelo que produzca una concentración inicial de 40 g/l, no más de ese valor. Una guía segura es usar

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

una muestra de 40 g de suelo para completar un litro de suspensión **sin** el densímetro adentro del cilindro sedimentador para el caso de Bouyoucos y también, **sin** el densímetro adentro para el caso del método del hidrómetro por Comité sobre Análisis Físicos de la Sociedad de la Ciencia del Suelo de los Estados Unidos. **La exactitud del método depende de la densidad de la partícula del suelo y del grado de control de la temperatura durante el experimento.**

Para que la relación de este método que se fundamenta en la Ley de Stokes, la cual establece que la velocidad de caída de las partículas pequeñas, en un medio líquido, es directamente proporcional a su tamaño; tenga validez, deben cumplirse algunas condiciones como:

- total dispersión de las partículas del suelo durante todo el tiempo que dure el proceso de sedimentación, es decir, que no se presente floculación durante la determinación.
- todo el proceso de sedimentación se lleve a cabo a temperatura constante.
- la concentración de la suspensión sea lo suficientemente diluida, de modo que no afecte significativamente la viscosidad.
- el recipiente en el cual se efectúa la sedimentación, tenga un diámetro lo suficientemente grande, como para evitar la atracción de sus bordes sobre las partículas.

Las condiciones anteriores llevaron, entonces, a calibrar un hidrómetro que permitiera estandarizar el método y establecer correcciones en aquellos casos en que se presentaran desviaciones en las condiciones experimentales ideales; estas condiciones de calibración se basan en varios supuestos:

- Las partículas del suelo son esféricas y presentan igual densidad.
- Las partículas se sedimentan en caída libre.
- No se presenta turbulencia en la suspensión.
- Todas las partículas que están sedimentando, tienen tamaños mayores al tamaño de las moléculas de agua.

En resumen, como se mencionó el hidrómetro estandarizado para este análisis es el ASTM-152H y las condiciones analíticas para las cuales fue calibrado son:

- **Temperatura de 19,4°C.**
- **Densidad de partículas de 2,65 g/cm³**
- **El medio de suspensión es agua pura, por lo cual densidad del agua $\delta_w = 1,0 \text{ g/cm}^3$ y que la viscosidad del agua $\eta = 0,01 \text{ g/(cm*s)}$**

La definición de los tamaños de las partículas de arenas, limos y arcillas depende del sistema utilizado como se muestra en los cuadros 4, 5, 7, 10, 11 y figura 26.

Para definir el tipo de textura se relacionan los porcentajes de arenas, limos y arcillas obtenidos por algún método, para este caso a utilizar el método de Bouyoucos utilizando el triángulo

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -
 Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

textural del USDA o de algún otro método (Figuras 27, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43 y 44).

Todas las clases texturales que se observan en las figuras mencionadas se pueden agrupar en 4 grandes grupos que poseen características similares:

Las texturas arcillosas dan suelos plásticos o suelos de texturas pesadas y difíciles de trabajar. Retienen gran cantidad de agua y de nutrientes debido a la microporosidad y a su elevada capacidad de intercambio catiónico. Aunque retengan agua en cantidad presentan una permeabilidad baja, salvo que estén bien estructurados y formen un buen sistema de grietas, macroporos y de pseudo arenas .

La textura arenosa: es la contrapuesta a la arcillosa, pues cuando en superficie hay una textura arenosa los suelos se conocen como ligeros, dada su escasa plasticidad y facilidad de trabajo. Presenta una excelente aireación debido a que las partículas dominantes de gran tamaño facilitan la penetración del aire. Únicamente cuando se producen lluvias intensas se puede producir encharcamiento o escorrentía, momento en el que la erosión laminar es muy importante. La acumulación de materia orgánica es mínima y el lavado de los elementos minerales es elevado.

La textura limosa: presenta carencia de propiedades coloidales formadoras de estructura, formando suelos que se apermazan con facilidad impidiendo la aireación y la circulación del agua. Es fácil la formación de costras superficiales que impiden o dificultan la emergencia de las plántulas y la infiltración del agua en el suelo.

Las texturas francas o equilibradas: al tener un mayor equilibrio entre sus componentes (arenas, limos y arcillas), gozan de los efectos favorables de las anteriores sin sufrir sus defectos, el estado ideal sería la textura franca y a medida que nos desviamos de ella se van mostrando los inconvenientes derivados.

Instrucciones

El laboratorio puede incluir el estudio de diferentes variables: por ejemplo, tipos de suelos con alto porcentaje de material orgánica ($\geq 18\%$), tipos de suelos diferentes que se presenten en profundidad de un mismo perfil de suelo, muestras sin dispersante y con dispersante y otros. El trabajo puede realizarse en grupos, dependiendo del equipo disponible.

CC BY-NC-ND 4.0

Cuadro 10: Tamaño y clasificación de las partículas minerales de la textura del suelo según varios sistemas de clasificación

Sistema internacional		Sistema USDA	
Fracción	Diámetro (mm)	Fracción	Diámetro (mm)
Grava	>2,0	Grava	>2,0
Arena gruesa	2,0 - 0,2	Arena muy gruesa	2,0 - 1,0
Arena fina	0,2 - 0,02	Arena gruesa	1,0 - 0,5
Limo	0,02 - 0,002	Arena media	0,5 - 0,25
Arcilla	< 0,002	Arena fina	0,25 - 0,10
		Arena muy fina	0,10 - 0,05
		Limo	0,05 - 0,002
		Arcilla	< 0,002
Sistema europeo		Estudio de Suelos de Inglaterra y Gales	
Fracción	Diámetro (mm)	Fracción	Diámetro (mm)
Grava	>2,0	Piedras	>2,0
Arena gruesa	2,0-0,6	Arena gruesa	2,0-0,6
Arena media	0,6-0,2	Arena media	0,6-0,2
Arena fina	0,2-0,06	Arena fina	0,2-0,06
Limo grueso	0,06-0,02	Limo	0,06-0,002
Limo medio	0,02-0,006	Arcilla	<0,002
Limo fino	0,006-0,002		
Arcilla gruesa	0,002-0,0006		
Arcilla media	0,0006-0,0002		
Arcilla fina	<0,0002		

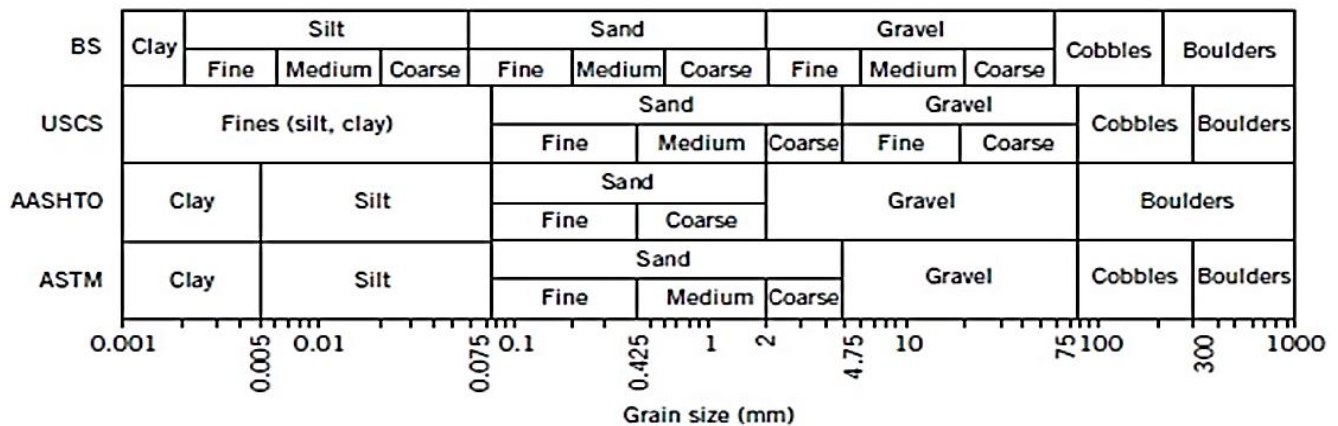


Figura 26: Tamaños de las partículas del suelo graficadas según sistema de clasificación

Cuadro 11: Tamaños de las partículas en el suelo para diferentes sistemas de clasificación

	BRITÁNICO	AASHTO	ASTM	SUCS
	ϕ (mm)	ϕ (mm)	ϕ (mm)	ϕ (mm)
Grava	60 - 2	75 - 2	> 2	75 - 4,75
Arena	2 - 0,06	2 - 0,05	2 - 0,075	4,75 - 0,075
Limo	0,06 - 0,002	0,05 - 0,002	0,075 - 0,005	< 0,075 finos
Arcilla	< 0,002	< 0,002	< 0,005	

CC BY-NC-ND 4.0

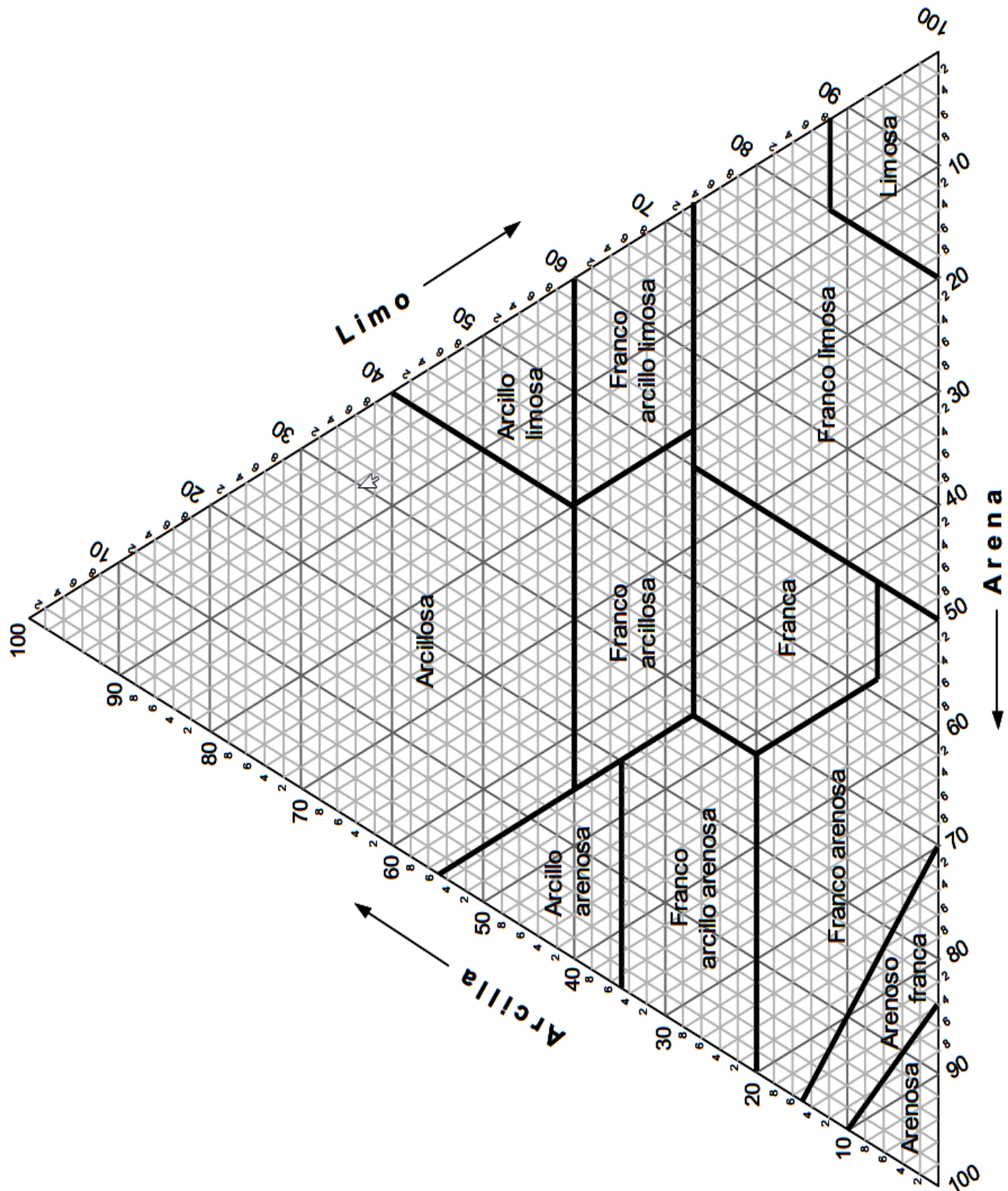


Figura 27: Triangulo textural del sistema USDA que muestra un ejemplo de la estimación de la textura del suelo

Tomado de: (Vera, Hernández, Mesías, Guzmán, & Cedeño, 2017)

Materiales

[CC BY-NC-ND 4.0](#)

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -
 Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

- Muestras de suelo
- Agua destilada
- Espátula
- Mortero y macerizador
- Tamiz de 2,0 mm
- Cápsulas de porcelana o contenedores
- Balanza granataria
- Probeta de 100 ml
- Batidora con vaso de acero inoxidable
- Termómetro
- Solución dispersante "Calgón" (37.5g hexametáfosfato de sodio + 7.14 g carbonato de sodio, en 1l)
- Cilindro de sedimentación que es una Probeta de 1,0 L con diámetro y profundidad determinados y con una sola graduación a 1 L
- Alcohol amílico
- Hidrómetro ASTM-152H (llamado hidrómetro de Bouyoucos)
- Cronómetro

Nota: Si no hay CALGON puede usarse cualquiera de las siguientes 2 soluciones alternativas

- 1- 40 g de polifosfato de sodio y 10 g de carbonato de sodio en agua y diluir a volumen de 1 L
- 2- 5 ml de NaOH, 1N y 5 ml de oxalato de sodio saturado.

Nota: Se recomienda 5 ml de NaOH + 5 ml de Oxalato de sodio saturado para suelos concenizas volcánicas.

Métodos

Método del hidrómetro por sedimentación por Bouyoucos

Para este método debe ser utilizada exclusivamente una probeta que consiste en un cilindro sedimentador llamado cilindro de Bouyoucos o probeta de Bouyoucos o cilindro sedimentador de Bouyoucos el cual se encuentra marcado respectivamente a 1 litro y dicho litro se completa a una altura específica en la probeta. Si el cilindro no es el de Bouyoucos el resultado puede ser altamente erróneo. Si el suelo presenta un contenido de materia orgánica mayor al 5%, destrúyala antes con peróxido de hidrógeno al 30% y calentando. Debe agregar agua que cubra el suelo 1 cm una vez hecho esto agregar 5 ml de H₂O₂. Repita la dosis de peróxido hasta que cese la efervescencia. Deje secar el suelo a temperatura ambiente. Esto se hace con suelos que tienen más de 5% de materia orgánica donde se considera que generalmente

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

la materia orgánica está incluida en el análisis del hidrómetro si es menor de 5%. No obstante, un análisis sin materia orgánica tiene mayor exactitud.

Pese una muestra de suelo de 40 g secada al aire y libre de materia orgánica. Luego se maceriza y se tamiza en un tamiz de 2 mm. Se coloca en un dispensador. Agregue 15 ml. de dispersante Calgón (37,5 g hexametáfosfato de sodio y 7,14 g de carbonato de sodio disuelto en un litro de agua) (30% M/V) (otros mencionan que se pueden utilizar otras cantidades del dispersante Calgón como lo pueden ser 10, 20, 100 y 115 centímetros cúbicos (cc) donde las dos últimas cantidades son la más recomendada para el método de Bouyoucos abreviado o de duración de la medida de 2,0 horas) en 250 cc de agua destilada y deje humedecer hasta que todas las partículas de suelos estén completamente humedecidas (este humedecimiento puede tomar tiempo y se recomienda que sea un tiempo total de 24 h previamente agitada en el beaker de 250 cm³).

Después del humedecimiento preferiblemente por 24 h coloque la muestra en el agitador mecánico y agite por 15 minutos. Transfiera a un cilindro de Bouyoucos todo el contenido, llénelo con agua destilada hasta la marca de un litro, **sin** el hidrómetro adentro.

Nota: antiguamente el volumen de la suspensión se completaba hasta 1130 ml (tomando 50 g de suelo) o 1205 ml (tomando 100 g de suelo) con el hidrómetro introducido pero luego se aplicaban las correcciones para el volumen de suelo y el bulbo del hidrómetro debido a que el hidrómetro está calibrado en g/L.

Saque el hidrómetro, tape el cilindro y agite la suspensión vigorosamente por 30 segundos o hasta que el fondo y paredes del cilindro queden sin suelo.

Coloque el cilindro en la mesa de trabajo para que comience a reposar y comience a tomar el tiempo. A los 20 o 25 segundos de haberse batido y colocarse en la mesa de trabajo en un lugar seguro para el reposo, inserte el hidrómetro 152-H cuidadosamente de tal manera que permanezca estable y no quede en un “subir y bajar” dentro del cilindro con la mezcla; tome la lectura del hidrómetro a los 40 segundos después de haberse colocado en la mesa de trabajo para reposar. Anote la lectura y recuerde tomar la temperatura inmediatamente después de leer con el hidrómetro. Al final de la primera lectura saque el hidrómetro.

En el caso de formarse espumas agregue 3 o 4 gotas de alcohol amílico para facilitar la lectura. Para cada lectura se debe de realizar una corrección por temperatura debido a que este método fue calibrado a la temperatura de 19,4 que consiste en que por cada grado arriba de 19,4 °C cuando se realiza la lectura, agregue 0,36 a la lectura del hidrómetro 152'H y por cada grado abajo cuando se realiza la lectura con el hidrómetro 152'H 19,4 °C, reste 0,36.

CC BY-NC-ND 4.0

Se supone que la arena se deposita en el fondo del cilindro, a los 40 segundos quedando los limos y las arcillas en suspensión, por lo tanto la lectura del hidrómetro a los 40 segundos corregida por temperatura respectivamente, da la cantidad del limo y arcilla en suspensión, por ello se puede calcular el % arena que ya se encuentra sedimentada por diferencia con respecto al 100% de la muestra en suspensión.

Luego con mucho cuidado (con la mínima disturbación) introduzca de nuevo el hidrómetro nuevamente adentro del cilindro sedimentador de Bouyoucos antes de realiar la segunda lectura (unos 3 minutos antes de los 120 minutos) y tome la lectura a las 2,0 horas o 120,0 minutos después de haberse colocado a reposar en la mesa de trabajo. Recuerde medir la temperatura en dicha medida.

Nota – Tiempos de lecturas más empleados:

Tomado de (Rodríguez Pérez, 2007)

Se ha encontrado que los porcentajes de arcilla medidos a las 2 horas según la recomendación original de la metodología de Bouyoucos tienden a ser muy elevados (porque parte del porcentaje de limos que no han sedimentado aún, se toma como si fueran arcillas) en comparación con los del análisis del Método de la Pipeta, por lo que se ha recomendado un periodo próximo real de 6,5 – 8,0 horas tomándose 7,0 horas en promedio para la segunda lectura o medida de la metodología abreviada de Bouyoucos y para lo cual, no debe ser menor a 5,0 horas. Esta nota está respaldada por pruebas y comparaciones de instituciones como FONAIAP, FUSAGRI y FLASA.

El tiempo de lectura del hidrómetro depende del sistema de clasificación usado. La separación entre limo y arcilla, según la Sociedad Internacional de las Ciencias del Suelos (0,002 mm) que ocurre normalmente entre 8,0 y 12,0 horas de sedimentación, pero el tiempo exacto no puede ser identificado de antemano. Mediciones entre las 6,0 y las 8,0 horas y después entre las 12,0 y las 15,0 horas pueden dar una medida precisa de los por cientos de arcilla y limo.

Con el ánimo de reducir el tiempo de laboratorio, algunos investigadores han propuesto una variedad de tiempos de observación, los cuales permiten aproximarse al tamaño de partículas deseado a partir de un mecanismo de extrapolación. BOUYOUCOS (1962) sugirió que las lecturas a 40 segundos y 2 horas eran suficientes, pero GEE y BAUDER (1979) sostuvieron que 2 horas sobreestimaba la fracción arcilla y desarrollaron un método de medias ponderadas para el cálculo de la arcilla, llevando a cabo lecturas a 1,5 y 24,0 horas. PATRICK (1958) usó 35 segundos y 8,0 horas. La metodología promovida por la ASTM, y generalmente aceptada por las agencias de manejo de suelos, usa lecturas a 3, 10 y 30 minutos y 1,5; 4,5 y 12,0 horas (DAY 1965). Sin embargo, ASTM (1972) también recomendó 2; 5; 15 y 30 minutos y 1,0; 4,0 y

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

24,0 horas, y la 2da edición del Manual de Métodos Estándares (GEE y BAUDER, 1986) cita 30 y 60 segundos, 3,0; 10,0 y 30,0 minutos y 1,0; 1,5; 2,0 y 24,0 horas. Para salvar tiempo de laboratorio y hacer más expeditos los análisis, se llevan a cabo solo una segunda lectura entre 6,0 y 8,0 horas.

Cálculo del porcentaje del material en suspensión

% material en suspensión (arcillas y limos) = $\frac{\text{Lectura corregida hidrómetro 40"} * 100}{\text{Peso seco muestra (sin el agua que queda después de secado al aire)}}$

Cálculo del porcentaje de las arenas

% de arenas totales = 100 - % de material en suspensión (arcillas y limos)

Calcule el porcentaje de arcilla en la muestra

Se supone que al final de dos horas en el método abreviado de Bouyoucos el limo y la arena han sedimentado y por ésto, la lectura corregida por temperatura del hidrómetro al final de dos horas representa los gramos de arcilla en la muestra en suspensión.

Cálculo del porcentaje de arcillas:

% arcillas coloidales = $\frac{\text{Lectura corregida hidrómetro 120'} * 100}{\text{Peso seco muestra (sin el agua que queda después de secado al aire)}}$

Calcule el porcentaje de limos de la muestra

% de limos = 100 - (% de arenas totales + % de arcillas coloidales)

Determine el nombre textural del suelo por medio del triángulo de textura del USDA (Figura. 27): el nombre textural se determina trazando una línea paralela a la base del triángulo partiendo del lado de las arcillas en el punto correspondiente al valor del porcentaje de arcillas encontrado, luego se traza otra recta pero paralela al lado del porcentaje de los limos partiendo del lado de las arenas en el punto correspondiente al valor del porcentaje de arenas encontrado.

El punto de unión o intersección de ambas líneas dentro del triángulo textural corresponde al nombre de la textura del suelo. Además, el punto donde se intersecan estas dos líneas dentro

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

del triángulo textural coincide forzosamente con otra línea que se interseca en el mismo punto que saldría paralela al porcentaje de las arcillas y que empezando del lado del porcentaje de limos con el valor del porcentaje de limos encontrado.

Ejemplo de cálculo:

Muestra 1:

Lectura 40 segundos= 16 g/l

Temperatura 40 segundos= 25 °C

Lectura 2 horas= 5 g/l

Temperatura 2 horas= 25 °C

Corrección lectura 40 segundos:

$$L_c = 16 \text{ g/l} + (25 - 19,4) * 0,36$$

$$L_c = 16 \text{ g/l} + 1,68 \text{ g/l}$$

$$L_c = 18,016 \text{ g/l}$$

Corrección lectura 2 horas:

$$L_c = 5 \text{ g/l} + (25 - 19,4) * 0,3$$

$$L_c = 5 \text{ g/l} + 2,02 \text{ g/l}$$

$$L_c = 7,02 \text{ g/l}$$

Cálculo del porcentaje del material en suspensión

$$\% \text{Susp} = \frac{18,016 \text{ g/l}}{40 \text{ g/l}} * 100$$

$$\% \text{Susp} = 45,04 \%$$

Calculo del porcentaje de arenas:

$$\% \text{ de arenas totales} = (100 - 44,20) \%$$

$$\% \text{ de arenas totales} = 54,96 \%$$

Calculo del porcentaje de arcillas:

$$\% \text{Arc} = \frac{7,02 \text{ g/l}}{40 \text{ g/l}} * 100$$

$$\% \text{ Arc} = 17,55 \%$$

Calculo del porcentaje de limos:

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

%limos = 100 % – (17,55 % + 54,96 %)

%limos = 100 % – 72,51 %

%limos = 27,46 %

Textura según figura 27: Franco arenoso

También se pueden usar las figuras 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43 y 44 para determinar la textura del suelo debiéndose informar el triángulo textural utilizado.

Método del hidrómetro por Comité sobre Análisis Físicos de la Sociedad de la Ciencia del Suelo de los Estados Unidos

Este método tiene la diferencia con el método de Bouyoucos es en los tiempos de las lecturas ya que son mayor cantidad de lecturas con el densímetro 152-H y se debe de tener mucho cuidado en dejar la calibración correctamente para luego realizar todas las mediciones con el densímetro 152-H, en el hecho de que el cilindro sedimentador que contiene el agua destilada, la muestra de suelo sin materia orgánica (o con contenidos menores al 5% de materia orgánica) y la solución dispersante, debe ser llevado a un litro **sin** el hidrómetro adentro con agua destilada.

Para desarrollar el método como se mencionó, se deben hacer lecturas a diferentes tiempos con el hidrómetro (después de haber realizado durante 30 segundos la mezcla de la suspensión y que no exista dentro del cilindro sedimentador ninguna cantidad de suelo adherido) de manera semejante al método de Bouyoucos juntamente con la lectura de la temperatura (°C) en cada lectura con el densímetro 152-H pero durante más tiempo de manera continua.

Se pueden hacer lecturas a varios tiempos como tenemos las siguientes recomendación:

- 1- a los 30, 60 segundos; a los 3, 10, 30, 90 (1 h y 30 min), 240 (4 h) y 1080 (18 h) minutos.
- 2- a los 30, 60 segundos; a los 3, 10, 40, 100 (1 h y 40 min), 250 (4 h y 10 min) y 1400 (23 h y 20 min) minutos.
- 3- a los 30, 60 segundos, 1, 2, 4, 6, 15, 30 y 60 minutos, 2, 4, 6, 8 y 24 horas (EMBRAPA)
- 4- 1, 2, 5, 15, 30, 60 (1 hora), 120 (2 horas), 240 (4 horas) y 1440 min (23 h y 20 min) minutos
- 5- Combinaciones de las anteriores y pueden añadirse mayor cantidad de lecturas tanto en el periodo de las 24 horas como después de dicho periodo

Además se deben de hacer por aparte en otro cilindro sedimentador al inicio de las medidas una lectura con el hidrómetro 152-H calibrado también a un litro en un cilindro sedimentador de Bouyoucos **sin** el hidrómetro adentro que contiene el agua destilada y con la misma cantidad de dispersante pero sin suelo, y de la misma manera la medida de la temperatura de

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

dicha lectura del hidrómetro (a esta lectura del hidrómetro sin suelo y a su temperatura respectiva se le llama lectura del blanco).

Además, por aparte se debe de medir la densidad real de partículas (llamado peso específico de partículas) y la humedad gravimétrica de la muestra de 40 gramos.

Esta información se puede tabular como se muestra en los Cuadros 12 y 13.

Para mostrar el procedimiento de cálculo de este método el cual tiene mayor grado de complejidad (se deben de desarrollar los cálculos conforme el cuadro 14 y 15) que es el método del hidrómetro del Comité sobre Física de la Sociedad de la Ciencia del Suelo de los Estado

Unidos con la información obtenida en el laboratorio se realizará mediante dos ejemplos debido a lo complejo del mismo.

Por lo anterior se realizaron los procedimientos en el Laboratorio de Suelos de la Escuela de Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica y los resultados se muestran a continuación en el cuadro 16.

Cuadro 12: Información necesaria para cálculo de textura por el método del Comité sobre Física de la Sociedad de la Ciencia del Suelo de los Estados Unidos

		Tiempo de sedimentación (min)	Temperatura (°C)	Lectura del hidrómetro (g/cm ³) R
		(1)	(2)	(3)
R _L (lectura hidrómetro sin suelo (agua destilada + dispersante a 1 litro sin el densímetro adentro))=	g/l	0,5 minutos		
Temperatura (lectura sin suelo)L=	°C	1 minuto		
Densidad real de partículas=	g/cm ³	3 minutos		
Ph=		10 minutos		
Ps=		30 minutos		
HG=	%	90 min (1 h y 30 min)		
Masa muestra secada al aire=	g (suelo+agua)	240 min (4 h)		
Masa real=	g (suelo)	1080 min (18 h)		

CC BY-NC-ND 4.0

Cuadro 13: Información necesaria para cálculo de textura por el método del Comité sobre Física de la Sociedad de la Ciencia del Suelo de los Estados Unidos para mayor tiempo de medida

			Tiempo de sedimentación (min) (1)	Temperatura (°C) (2)	Lectura del hidrómetro (g/cm ³) R (3)
RL (lectura hidrómetro sin suelo (agua destilada + dispersante a 1 litro sin el densímetro adentro))=		g/l	0,5 minutos		
Temperatura (lectura sin suelo)L=		°C	1 minuto		
Densidad real de partículas=		g/cm ³	3 minutos		
Ph=			10 minutos		
Ps=			40 minutos		
HG=		%	100 min (1 h y 40 min)		
Masa muestra secada al aire=		g (suelo+agua)	250 min (4 h y 10 min)		
Masa real=		g (suelo)	1400 min (23 h y 20 min)		

CC BY-NC-ND 4.0

Cuadro 14: Registro y cálculo para el análisis del tamaño de las partículas

Hora de lectura	Tiempo de sedimentación en minutos	Temperatura en °C	Lectura del hidrómetro R	Corrección de calibración Cuadro 6.1.	R _L	Concentración R - R _L	Corrección de concentración cf en Cuadro 6.4. $\frac{R - R_L}{C \times}$	% acumulativo Z _i	θ en Cuadro 6.2.	b, factor de corrección para θ Cuadros 6.3 y 6.6.	$\theta \times b$	$\sqrt{\text{tiempo}}$	Díámetro en micras $\frac{\theta b}{\sqrt{t}}$
	0,5											0,707	
	1											1,0	
	3											1,732	
	9											3	
	36											6	
	100											10	
	256											16	
	1089											33	

R_L de calibración del hidrómetro _____

Temperatura de R de calibración _____

Densidad de las partículas (de los sólidos) _____

% de humedad gravimétrica de la muestra indicadora (H) _____

Masa de la muestra secada al aire (M) _____

Masa de la muestra secada al horno (calculada). $(M_s) = \frac{M}{1 + \frac{H}{100}}$ _____

Concentración inicial de suspensión (concentración promedio de la suspensión) _____

Número de serie del hidrómetro _____

Masa de partículas > 100 micras _____

Masa de partículas > 100 micras - Masa de sólidos = Masa de partículas < 100 micras (M₁₀₀) _____

% de partículas < 100 micras = $\frac{M_{100}}{M_s} \times 100$ _____

Tomado de Forsythe, W. 1975.

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal.

adchavarría@itcr.ac.cr

chavarrivae@gmail.com

Cuadro 15: Evaluación del valor del promedio ponderado de "b" cuando la temperatura varía durante la sedimentación

(1) Tiempo de sedimentación*	(2) Tiempo de sedimentación menos tiempo de sedimentación anterior	(3) Promedio de la temperatura durante el intervalo de tiempo en (2)	(4) Valor de b que corresponde a la temperatura en (3)	(5) (4) x (2)	(6) Suma de los valores de (4) x (2)	(7) Promedio ponderado de b $= \frac{(6)}{(1)}$

(*) El primer intervalo de tiempo corresponde al período inicial de temperatura constante.

$$\text{Promedio ponderado de } b = \frac{b_1 (t_1 - t_0) + b_2 (t_2 - t_1) \dots b_n (t_n - t_{n-1})}{t_n}$$

Donde b_n es el valor de b que corresponde al promedio de las temperaturas durante el período ($t_n - t_{n-1}$). Si repite una lectura, anote las temperaturas durante el período de sedimentación para poder sacar un promedio ponderado.

Tomado de Forsythe, W. 1975.

CC BY-NC-ND 4.0

Medidas realizadas para el cálculo de la textura del suelo

Cuadro 16: Información o lecturas y medidas para cálculo de textura por el método del comité sobre Física de la Sociedad de la Ciencia del Suelo de los Estados Unidos

			Tiempo de sedimentación (min)	Temperatura (°C)	Lectura del hidrómetro (g/cm ³)
			(1)	(2)	R (3)
R _L (lectura hidrómetro sin suelo (agua destilada + dispersante a 1 litro sin el densímetro adentro))=	-1,00	g/l	0,5	25	33
Temperatura (lectura sin suelo) L=	24,00	°C	1	25	32
Densidad real de partículas=	2,60	g/cm ³	3	25	30
Ph=			10	25	28
Ps=			30	25	26
%HG=	2,08	%	90	24	25
Masa muestra secada al aire=	40,00	g (suelo+agua)	240	22	24
Masa real = (Msecaal aire / (1 + (%HG/100)))	39,19	g (suelo)	1080	25	20

CC BY-NC-ND 4.0

Cuadro 17: Corrección de la temperatura de cada lectura de R para R_L de la calibración donde las correcciones están colocadas con base a los cambios de densidad del agua con la temperatura (para el método del comité sobre Física de la Sociedad de la Ciencia del Suelo de los Estados Unidos)

Temperatura de la lectura °C	Corrección de R_L de la calibración g/l por cada °C de diferencia de la temperatura de calibración	Temperatura de la lectura °C	Corrección de R_L de la calibración g/l por cada °C de diferencia de la temperatura de calibración
10	0,1	26	0,25
11	0,1	27	0,25
12	0,1	28	0,30
13	0,1	29	0,30
14	0,1	30	0,30
15	0,1	31	0,30
16	0,2	32	0,30
17	0,2	33	0,30
18	0,2	34	0,30
19	0,2	35	0,30
20	0,2	36	0,35
21	0,2	37	0,35
22	0,2	38	0,35
23	0,25	39	0,35
24	0,25		
25	0,25		

Si $T_{lectura} < T_{calibración}$
agregar la corrección acumulativa de la lectura de calibración.

Si $T_{lectura} > T_{calibración}$
sustraer la corrección acumulativa de la lectura de calibración.

Tomado de Forsythe, W. 1975.

CC BY-NC-ND 4.0

Cuadro 18: Valores del factor de corrección "f" para la concentración "c" cuando la densidad de partículas no es igual a 2,65 g/cm³ a temperaturas de agua entre 10 °C y 35 °C (para el método del Comité sobre Física de la Sociedad de la Ciencia del Suelo de los Estados Unidos)

Densidad de partícula g/ml	f	Densidad de partícula g/ml	f
1,50	1,86	2,30	1,10
1,55	1,75	2,35	1,08
1,60	1,65	2,40	1,07
1,65	1,57	2,45	1,05
1,70	1,51	2,50	1,04
1,75	1,45	2,55	1,02
1,80	1,40	2,60	1,01
1,85	1,35	2,65	1,00
1,90	1,31	2,70	0,989
1,95	1,28	2,75	0,979
2,00	1,24	2,80	0,969
2,05	1,21	2,85	0,960
2,10	1,19	2,90	0,951
2,15	1,16	2,95	0,942
2,20	1,14	3,00	0,934
2,25	1,12		

$$f (25^{\circ}\text{C}) = \frac{0,624}{\left(1 - \frac{0,997}{\rho_p}\right)} = \frac{\left(1 - \frac{\rho_{ag}}{\rho_p \text{ (calibración)}}\right)}{\left(1 - \frac{\rho_{ag}}{\rho_p \text{ (ensayo)}}\right)}$$

ρ_p (calibración) = densidad de partícula de la suspensión = 2,65 g/ml durante la calibración del hidrómetro.

Tomado de Forsythe, W. 1975.

Cuadro 19: Cálculo del porcentaje acumulativo sedimentado Z_t para la estimación de la textura por el método del Comité sobre Física de la Sociedad de la Ciencia del Suelo de los Estados Unidos (continuación cuadro 10)

Corrección RL de la calibración Cuadro 11 (4)	Cálculo corrección RL de la Calibración (5)	Cálculo de la corrección RL (6)	Concentración o lectura corregida C = R - RL (7)	Corrección de la concentración Cuadro 12	Porcentaje Acumulativo Zt (9)
				f= 1,01 (8)	
0,25	-0,25	-1,25	34,25	34,5925	88,2757
0,25	-0,25	-1,25	33,25	33,5825	85,6983
0,25	-0,25	-1,25	31,25	31,5625	80,5436
0,25	-0,25	-1,25	29,25	29,5425	75,3888
0,25	-0,25	-1,25	27,25	27,5225	70,2340
0,25	0	-1,00	26,00	26,2600	67,0122
0,2	0,4	-0,60	24,60	24,8460	63,4039
0,25	-0,25	-1,25	21,25	21,4625	54,7696

Procedimiento de cálculo del cuadro 13

En el cuadro 16 se puede observar tanto las medidas externas al procedimiento como las medidas propias al procedimiento reflejadas en las columnas 1, 2 y 3.

Se procede a calcular hasta llegar a encontrar el porcentaje acumulativo de sedimentación de la muestra de suelo llamado Z_t que se muestra en la columna 9 del cuadro 19 con el siguiente procedimiento:

- 1- Del cuadro 17 se toma el valor de R_L de corrección tabular (con base a la temperatura de la lectura que está expresado en el cuadro 18 para calcular la corrección debida a la temperatura de cada lectura mostrado el resultado en la columna (4) del cuadro 19.
Primera fila: para la temperatura de 25 °C $R_L = 0,25$
Segunda fila: para la temperatura de 25 °C $R_L = 0,25$
Séptima fila: para la temperatura de 24 °C $R_L = 0,20$

CC BY-NC-ND 4.0

- 2- El cálculo de la corrección R_L de la calibración se muestra en la columna 5 del cuadro 19 la cual se realiza mediante la siguiente ecuación

(temperatura “L” lectura sin suelo cuadro 10 (valor único fijo)) – temperatura de cada lectura R) * valor de columna 4

(temperatura “L” lectura sin suelo cuadro 10 (valor único fijo)) – temperatura de cada lectura) * valor de corrección R_L

Una muestra del cálculo es:

Primera fila: $(24 - 25) * 0,25 = -0.25$

Segunda fila: $(24 - 25) * 0,25 = -0.25$

Sexta fila: $(24 - 24) * 0,25 = 0,00$

- 3- A la lectura del hidrómetro sin suelo que es en sí misma una corrección, se le suma a cada una de las correcciones calculadas R_L de la calibración por temperatura correspondiente a la columna 5 como se muestra en la columna 6 del cuadro 19

Se pueden utilizar las siguientes ecuaciones:

Columna 6 = Lectura hidrómetro sin suelo + valor de la columna 5

Columna 6 = Lectura hidrómetro sin suelo + cálculo de la corrección R_L

Una muestra del cálculo es:

Primera fila: $(-1,00 + -0,25) = -1.25$

Segunda fila: $(-1,00 + -0,25) = -1.25$

Sexta fila: $(-1,00 + -0,00) = -1,00$

- 4- La concentración o lectura corregida se muestra en la columna 7 del cuadro 19 que se calcula mediante la siguiente ecuación:

Columna 3 (cuadro 16) – columna 6 (cuadro 19) = columna 7 (cuadro 19)

R – R_L = C

Lectura del hidrómetro – corrección ya obtenida = concentración (lectura corregida)

Una muestra del cálculo es:

Primera fila: $(33,00 - (-1,25)) = 34,25$

Segunda fila: $(32,00 - (-1,25)) = 33,25$

Sexta fila: $(25,00 - (-1,00)) = 26,00$

- 5- Para calcular la corrección de la concentración por densidad real de partículas que se muestra en la columna 8 del cuadro 19, se utiliza el cuadro 18 para encontrar el valor de “f” y se realiza cuando el valor de la densidad real de partículas es diferente a 2,65 g/l. Se logra observar del cuadro 16 que como la densidad aparente es de 2,60 g/l, se toma del cuadro 18 el valor $f = 1,01$. El valor “f” obtenido se multiplica por cada valor de “C” mostrado en la columna 7 del cuadro 19 y se obtiene el valor de la columna 8 del mismo cuadro:

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

Se puede utilizar la siguiente ecuación:

Columna 8 (cuadro 19) = f (cuadro 18) * columna 7 (cuadro 19)

Columna 8 (cuadro 19) = f (cuadro 18) * cada valor de C

Una muestra del cálculo es:

Primera fila: $34.25 * 1.01 = 34,5925$

Segunda fila: $33.25 * 1.01 = 33,5825$

Sexta fila: $26,00 * 1.01 = 26,26$

- 6- Se debe calcular el % acumulativo sedimentado (Zt) el cual se debe de graficar con el diámetro de partículas correspondiente a dicha sedimentación para conocer los porcentajes de arcillas, limos y arenas y estimar de esta manera la textura. Para el cálculo de este porcentaje acumulativo (Zt) que se muestra en la columna 9 del cuadro 19 se realiza mediante la siguientes ecuaciones:

$$Zt(i) = \frac{\text{columna 8 del cuadro 19}}{\text{Masa real (g de suelo) del cuadro 10 (calculado externo al método)}} * 100$$

$$Zt(i) = \frac{\text{concentración corregida (por temperatura y densidad de partículas)}}{\text{Masa real (g de suelo)}} * 100$$

Una muestra del cálculo es:

$$Zt(1) = \frac{34,5925}{39,1869} * 100 = 88,2757$$

$$Zt(2) = \frac{33,5825}{39,1869} * 100 = 85,6983$$

$$Zt(6) = \frac{26,2600}{39,1869} * 100 = 67,0122$$

CC BY-NC-ND 4.0

Cuadro 20: Valores del parámetro θ según Day para el cálculo del tamaño de partículas "d" para una temperatura de 30 °C y densidad aparente de 2,65 g/ml aplicado para el método del Comité sobre Física de la Sociedad de la Ciencia del Suelo de los Estados Unidos

R	θ	R	θ	R	θ
-5	50,4	11	46,4	26	42,2
-4	50,1	12	46,2	27	41,9
-3	49,9	13	45,9	28	41,6
-2	49,6	14	45,6	29	41,3
-1	49,4	15	45,3	30	41,0
0	49,2				
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

R = lectura de la escala del hidrómetro sin corregir, en gramos por litro. (Escala de Bouyoucos)

θ = parámetro = $1000 \sqrt{\frac{30 \eta s}{g(\rho_p - \rho_L)}} = 12,182 \sqrt{s}$ (ver Day⁹)

θ / \sqrt{t} (mins) = d de partículas en micras, $g = 980,7 \text{ cm/sec}^2$,
 $\rho_p = 2,650 \text{ g/ml}$

$\rho_L = 0,99949 \text{ gm/ml}$ (para una solución que contiene 5 g.p.l. soluto a 30°C $\eta = 8,007 \times 10^{-3}$ poise. La viscosidad de agua a 30°C).

s = la profundidad efectiva del hidrómetro ASTM 152H.*

Tomado de Forsythe, W. 1975.

CC BY-NC-ND 4.0

Cuadro 21: Valores del factor de corrección “b” para la temperatura de sedimentación (viscosidad) y la densidad de partículas que deben aplicarse al valor de θ a 30 °C y densidad real de partículas de 2,65 g/ml utilizado en el método del Comité sobre Física de la Sociedad de la Ciencia del Suelo de los Estados Unidos

$$b = \frac{1000}{12,182} \times \sqrt{\frac{30 \times \text{viscosidad}}{980,7 (\text{densidad de partícula-densidad del agua})}}$$

La viscosidad es en “poise”, y las densidades en g/ml. Cuando $t = 30^{\circ}\text{C}$ y $\rho_p = 2,650$ entonces $b = 1,000$. Si el dato de ρ_p solamente es confiable para 3 cifras significativas, los valores de b son confiables a 3 cifras significativas.

Tem- pera- tura oC	Densidad de partículas g/ml									
	1,500	1,550	1,600	1,650	1,700	1,750	1,800	1,850	1,900	1,950
10	2,334	2,224	2,129	2,045	1,970	1,903	1,842	1,787	1,736	1,690
11	2,301	2,193	2,099	2,016	1,943	1,876	1,817	1,762	1,712	1,667
12	2,268	2,162	2,069	1,987	1,915	1,850	1,791	1,737	1,688	1,643
13	2,237	2,133	2,041	1,961	1,889	1,825	1,767	1,714	1,665	1,621
14	2,208	2,105	2,015	1,935	1,865	1,801	1,744	1,691	1,644	1,600
15	2,180	2,078	1,989	1,910	1,840	1,778	1,721	1,670	1,622	1,579
16	2,152	2,051	1,963	1,886	1,817	1,755	1,699	1,648	1,602	1,559
17	2,125	2,025	1,938	1,862	1,794	1,733	1,678	1,627	1,581	1,539
18	2,098	2,000	1,914	1,839	1,771	1,711	1,656	1,607	1,561	1,520
19	2,070	1,973	1,888	1,814	1,748	1,689	1,635	1,586	1,541	1,500
20	2,044	1,949	1,865	1,792	1,726	1,668	1,615	1,566	1,522	1,481
21	2,019	1,925	1,843	1,770	1,705	1,647	1,595	1,547	1,504	1,463
22	1,995	1,902	1,820	1,749	1,685	1,628	1,576	1,529	1,486	1,446
23	1,971	1,879	1,799	1,728	1,665	1,608	1,557	1,510	1,468	1,429
24	1,946	1,855	1,776	1,706	1,644	1,588	1,538	1,492	1,450	1,411
25	1,923	1,834	1,755	1,686	1,625	1,570	1,520	1,474	1,433	1,395
26	1,901	1,813	1,735	1,667	1,606	1,552	1,503	1,458	1,417	1,379
27	1,880	1,792	1,716	1,648	1,588	1,535	1,486	1,441	1,401	1,363
28	1,857	1,771	1,696	1,629	1,570	1,517	1,468	1,425	1,384	1,347
29	1,837	1,752	1,677	1,611	1,553	1,500	1,452	1,409	1,369	1,333
30	1,817	1,733	1,659	1,594	1,536	1,484	1,437	1,394	1,354	1,318
31	1,796	1,713	1,640	1,575	1,518	1,467	1,420	1,378	1,339	1,303
32	1,777	1,695	1,622	1,559	1,502	1,451	1,405	1,363	1,325	1,290
33	1,759	1,677	1,606	1,543	1,487	1,436	1,391	1,349	1,311	1,276
34	1,740	1,660	1,589	1,527	1,471	1,421	1,376	1,335	1,298	1,263
35	1,723	1,643	1,573	1,511	1,456	1,407	1,362	1,322	1,285	1,250
36	1,704	1,625	1,556	1,495	1,441	1,392	1,348	1,308	1,271	1,237
37	1,685	1,607	1,539	1,479	1,425	1,377	1,334	1,294	1,258	1,224
38	1,669	1,592	1,524	1,465	1,412	1,364	1,321	1,281	1,245	1,212
39	1,653	1,576	1,509	1,450	1,398	1,351	1,308	1,269	1,233	1,201

Tomado de Forsythe, W. 1975.

CC BY-NC-ND 4.0

Continuación del cuadro 21

Tem- pera- tura °C	Densidad de partículas g/ml									
	2,000	2,050	2,100	2,150	2,200	2,250	2,300	2,350	2,400	2,450
10	1,647	1,607	1,570	1,535	1,503	1,472	1,444	1,417	1,391	1,367
11	1,624	1,585	1,548	1,514	1,482	1,452	1,424	1,397	1,372	1,348
12	1,601	1,562	1,526	1,493	1,461	1,432	1,404	1,377	1,352	1,329
13	1,580	1,541	1,506	1,473	1,442	1,412	1,385	1,359	1,334	1,311
14	1,559	1,521	1,486	1,453	1,423	1,394	1,367	1,341	1,317	1,294
15	1,539	1,502	1,467	1,435	1,404	1,376	1,349	1,324	1,300	1,277
16	1,519	1,482	1,448	1,416	1,386	1,358	1,332	1,307	1,283	1,261
17	1,500	1,464	1,430	1,398	1,369	1,341	1,315	1,290	1,267	1,245
18	1,481	1,445	1,412	1,381	1,352	1,324	1,298	1,274	1,251	1,229
19	1,462	1,427	1,394	1,363	1,334	1,307	1,282	1,258	1,235	1,214
20	1,444	1,409	1,377	1,346	1,318	1,291	1,266	1,242	1,220	1,199
21	1,426	1,392	1,360	1,330	1,302	1,275	1,251	1,227	1,205	1,184
22	1,409	1,375	1,343	1,314	1,286	1,260	1,236	1,212	1,191	1,170
23	1,392	1,359	1,327	1,298	1,271	1,245	1,221	1,198	1,176	1,156
24	1,375	1,342	1,311	1,282	1,255	1,230	1,206	1,183	1,162	1,142
25	1,359	1,326	1,296	1,267	1,241	1,216	1,192	1,170	1,149	1,129
26	1,344	1,311	1,281	1,253	1,227	1,202	1,178	1,156	1,135	1,116
27	1,329	1,297	1,267	1,239	1,213	1,188	1,165	1,143	1,123	1,103
28	1,313	1,282	1,252	1,225	1,199	1,175	1,152	1,130	1,110	1,091
29	1,299	1,268	1,239	1,211	1,186	1,162	1,139	1,118	1,098	1,079
30	1,285	1,254	1,225	1,198	1,173	1,149	1,127	1,106	1,086	1,067
31	1,270	1,240	1,211	1,185	1,160	1,136	1,114	1,094	1,074	1,055
32	1,257	1,227	1,199	1,172	1,148	1,124	1,103	1,082	1,063	1,044
33	1,244	1,214	1,186	1,160	1,136	1,113	1,091	1,071	1,052	1,033
34	1,231	1,202	1,174	1,148	1,124	1,101	1,080	1,060	1,041	1,023
35	1,219	1,189	1,162	1,136	1,113	1,090	1,069	1,049	1,030	1,012
36	1,206	1,177	1,150	1,125	1,101	1,079	1,058	1,038	1,019	1,002
37	1,193	1,165	1,138	1,113	1,090	1,068	1,047	1,027	1,009	0,9915
38	1,182	1,153	1,127	1,102	1,079	1,057	1,037	1,017	0,9992	0,9818
39	1,170	1,142	1,116	1,092	1,069	1,047	1,027	1,008	0,9996	0,9724

Tem- pera- tura °C	Densidad de partículas, g/ml										
	2,500	2,550	2,600	2,650	2,700	2,750	2,800	2,850	2,900	2,950	3,000
10	1,344	1,322	1,301	1,281	1,262	1,244	1,226	1,210	1,194	1,178	1,163
11	1,325	1,303	1,283	1,263	1,244	1,227	1,209	1,193	1,177	1,162	1,147
12	1,307	1,285	1,265	1,246	1,227	1,209	1,192	1,176	1,161	1,146	1,131
13	1,289	1,268	1,248	1,229	1,211	1,193	1,177	1,161	1,145	1,130	1,116
14	1,272	1,252	1,232	1,213	1,195	1,178	1,161	1,145	1,130	1,116	1,101
15	1,256	1,235	1,216	1,197	1,179	1,162	1,146	1,131	1,116	1,101	1,087
16	1,240	1,220	1,200	1,182	1,164	1,148	1,132	1,116	1,101	1,087	1,073
17	1,224	1,204	1,185	1,167	1,150	1,133	1,117	1,102	1,087	1,073	1,060
18	1,209	1,189	1,170	1,152	1,135	1,119	1,103	1,088	1,074	1,060	1,046
19	1,193	1,174	1,155	1,138	1,121	1,105	1,089	1,074	1,060	1,046	1,033

Tomado de Forsythe, W. 1975.

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

Continuación del cuadro 21

Tem- pera- tura °C	Densidad de partículas g/ml										
	2,500	2,550	2,600	2,650	2,700	2,750	2,800	2,850	2,900	2,950	3,000
20	1,178	1,159	1,141	1,124	1,107	1,091	1,076	1,061	1,047	1,033	1,020
21	1,164	1,145	1,127	1,110	1,093	1,078	1,063	1,048	1,034	1,021	1,008
22	1,150	1,131	1,114	1,097	1,080	1,065	1,050	1,036	1,022	1,009	0,9959
23	1,136	1,118	1,100	1,083	1,067	1,052	1,037	1,023	1,010	0,9966	0,9840
24	1,123	1,104	1,087	1,070	1,055	1,039	1,025	1,011	0,9975	0,9846	0,9722
25	1,110	1,092	1,074	1,058	1,042	1,027	1,013	0,9991	0,9859	0,9732	0,9609
26	1,097	1,079	1,062	1,046	1,030	1,016	1,001	0,9877	0,9747	0,9621	0,9500
27	1,085	1,067	1,050	1,034	1,019	1,004	0,9901	0,9767	0,9637	0,9513	0,9393
28	1,072	1,055	1,038	1,022	1,007	0,9928	0,9789	0,9656	0,9538	0,9405	0,9287
29	1,061	1,043	1,027	1,011	0,9963	0,9820	0,9682	0,9550	0,9424	0,9302	0,9185
30	1,049	1,032	1,016	<u>1,000</u>	0,9855	0,9713	0,9577	0,9447	0,9321	0,9201	0,9085
31	1,038	1,021	1,005	0,9893	0,9746	0,9606	0,9472	0,9343	0,9219	0,9101	0,8986
32	1,027	1,010	0,9941	0,9789	0,9644	0,9505	0,9372	0,9245	0,9122	0,9005	0,8892
33	1,016	0,9994	0,9837	0,9687	0,9543	0,9406	0,9275	0,9149	0,9027	0,8911	0,8799
34	1,005	0,9891	0,9736	0,9587	0,9445	0,9309	0,9179	0,9054	0,8934	0,8819	0,8708
35	0,9952	0,9791	0,9636	0,9489	0,9349	0,9214	0,9086	0,8962	0,8843	0,8739	0,8620
36	0,9849	0,9689	0,9537	0,9391	0,9252	0,9119	0,8992	0,8870	0,8752	0,8640	0,8531
37	0,9748	0,9590	0,9440	0,9296	0,9158	0,9027	0,8901	0,8780	0,8664	0,8552	0,8444
38	0,9654	0,9497	0,9348	0,9205	0,9069	0,8939	0,8814	0,8694	0,8579	0,8469	0,8362
39	0,9561	0,9406	0,9258	0,9117	0,8982	0,8853	0,8729	0,8611	0,8497	0,8387	0,8282

Tomado de Forsythe, W. 1975.

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

Cuadro 22: Cálculo del valor del promedio ponderado de “b” cuando la temperatura varía durante la sedimentación para aplicarse por el método del Comité sobre Física de la Sociedad de la Ciencia del Suelo de los Estados Unidos (utilización del cuadro 16 para el cálculo de la columna 11 del cuadro 23)

Tiempo de sedimentación acumulado (min)	Tiempo de Sedimentación menos Tiempo de Sedimentación Anterior	Temperatura de medición	Valor de b tabular según temperatura y densidad real de partículas Cuadro 21	(11-2) * (11-4)	Suma de valores (11-6)_{i-1} + (11-5)_i	Promedio ponderado de b (11-6) / (11-1)
(11-1)	(11-2)	(11-3)	(11-4)	(11-5)	(11-6)	(11-7)
0,5	0,5	25	1,074	0,537	0,537	1,07400
1	1-0,5 = 0,5	25	1,074	0,537	1,074	1,07400
3	3-1 = 2	25	1,074	2,148	3,222	1,07400
10	10-3 = 7	25	1,074	7,518	10,74	1,07400
30	30-10 = 20	25	1,074	21,48	32,22	1,07400
90	90-30 = 60	24	1,087	65,22	97,44	1,08267
240	240-90 = 150	22	1,114	167,1	264,54	1,10225
1080	1080-240=840	25	1,074	902,16	1166,7	1,08028

Procedimiento de cálculo del cuadro 22

- 7- Se toma el tiempo de sedimentación acumulado (columna (11-1) que es la columna 1 del cuadro 16) y se calcula cada tiempo de sedimentación no acumulado para cada lectura del cuadro 22 mostrado en la columna 11-2 de la siguiente manera:

$$\text{Columna } (11-2)_i = \text{columna } (11-1)_i - \text{columna } (11-1)_{i-1}$$

Una muestra de cálculo de cada tiempo de sedimentación es:

Primera fila: $0,5 - 0 = 0,5$ minutos

Segunda fila: $1,0 - 0,5 = 0,5$ minutos

Sexta fila: $90 - 30 = 60$ minutos

- 8- Luego para cada una de las temperaturas de medición (columna (11-3)) se toma del cuadro 21 el valor de corrección “b” tabular según temperatura y densidad real de partículas y se escribe en la columna (11-4) del cuadro 22.

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

Una muestra de cálculo de cada tiempo de sedimentación es:

Primera fila:

Temperatura = 25 °C, densidad real de partículas = 2,60 g/cm³ → $b_{\text{tabular}} = 1,074$

Segunda fila:

Temperatura = 25 °C, densidad real de partículas = 2,60 g/cm³ → $b_{\text{tabular}} = 1,074$

Sexta fila:

Temperatura = 24 °C, densidad real de partículas = 2,60 g/cm³ → $b_{\text{tabular}} = 1,087$

- 9- Para calcular un promedio ponderado del valor de “b” del cuadro 22 donde existen diferentes temperaturas a la hora de realizar las lecturas con el hidrómetro 152-H, se multiplica el valor tabular de “b” columna (11-4) del cuadro 22 por el tiempo real de sedimentación columna (11-2) del mismo cuadro y se tabularon en la columna 11-5 también del mismo cuadro:

Columna (11-5) = columna (11-2) * columna (11-4)

Una muestra de cálculo de cada tiempo de sedimentación es:

Primera fila: $0,50 * 1,074 = 0,537$

Segunda fila: $0,50 * 1,074 = 0,537$

Sexta fila: $60 * 1,087 = 65,22$

- 10- Luego se suman los valores resultantes de la multiplicación y tabulados en la columna (11-5) del cuadro 22 de manera acumulada y se tabulan en la columna (11-6) del mismo cuadro obteniendo una suma acumulada

Columna (11-6)_i = columna (11-6)_{i-1} + columna (11-5)_i

Una muestra de cálculo de cada tiempo de sedimentación es:

Primera fila: $0,537 + 0 = 0,537$

Segunda fila: $0,537 + 0,537 = 1,074$

Sexta fila: $32,22 + 65,22 = 97,44$

- 11- Por último para estimar el promedio ponderado de “b” (columna (11-7)) del cuadro 22 se dividen los valores obtenidos de la suma acumulada descrita en el paso 10 (paso anterior) (columna (11-6)) entre el tiempo de sedimentación acumulado (columna (11-1))

Columna (11-7) = columna (11-6) / columna (11-1)

Una muestra de cálculo de cada tiempo de sedimentación es:

Primera fila: $0,537 / 0,5 = 1,074$

Segunda fila: $1,074 / 1,0 = 1,074$

Sexta fila: $97,44 / 90 = 1,0827$

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

Cuadro 23: Cálculo del diámetro de partículas sedimentado a los tiempos de medida establecidos para el método del Comité sobre Física de la Sociedad de la Ciencia del Suelo de los Estados Unidos (término del cuadro 8 y continuación de los cuadros 10 y 13)

θ	b	$\theta * b$	Raíz cuadrada del tiempo sedimentación (Columna 1-Cuadro 16)	Diámetro de las Partículas (micras)
Cuadro 20	Promedio ponderado del factor de Corrección Columna 11-7 del cuadro 22 para θ		$(t_{\text{sedimentación}})^{1/2}$	$\theta * b / (t_{\text{sedimentación}})^{1/2}$
(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
40,1	1,07400	43,0674	0,7071	60,90650
40,4	1,07400	43,3896	1,0000	43,38960
41	1,07400	44,0340	1,7321	25,42304
41,6	1,07400	44,6784	3,1623	14,12855
42,2	1,07400	45,3228	5,4772	8,27477
42,5	1,08267	46,0133	9,4868	4,85023
42,8	1,10225	47,1763	15,4919	3,04522
43,9	1,08028	47,4242	32,8634	1,44307

Procedimiento de cálculo del cuadro 23

12-Del cuadro 20 se toman los valores del parámetro θ según Day para R (columna 3 del cuadro 16) para las diferentes lecturas realizadas con el hidrómetro (g/cm^3) a los diferentes tiempos previamente establecidos y se tabulan en la columna 10 del cuadro 23.

13-En la columna 11 del cuadro 23 se tabula el promedio ponderado del factor de corrección para el parámetro θ según Day que es el mismo valor encontrado en la columna (11-7) del cuadro 22

14-Se multiplican los valores de la columna 10 con los valores de la columna 11 ($\theta * b$) del cuadro 23 y se tabulan en la columna 12 del mismo cuadro

CC BY-NC-ND 4.0

Una muestra de cálculo:

Primera fila: $40,1 * 1,0740 = 43,0674$

Segunda fila: $40,4 * 1,0740 = 43,3896$

Sexta fila: $42,5 * 1,08267 = 46,0133$

- 15-Se calcula la columna 13 del cuadro 23 mediante la raíz cuadrada del tiempo de sedimentación que se refiere a cada tiempo a la que se hizo cada lectura **R** (ubicado en la columna 1 del cuadro 16) con el hidrómetro 152-H

Una muestra de cálculo:

Primera fila: $(0,5)^{1/2} = 0,7071$

Segunda fila: $(1,0)^{1/2} = 1,0$

Sexta fila: $(90)^{1/2} = 9,4868$

- 16-Se calcula el diámetro de las partículas sedimentado (columna 14 del cuadro 23) a los tiempos de lectura definidos, dividiendo los valores de la multiplicación $\theta * b$ (columna 12) entre la raíz cuadrada del tiempo de sedimentación (columna 13)

Una muestra de cálculo:

Primera fila: $43,0674 / 0,7071 = 60,907$

Segunda fila: $43,3896 / 1,0 = 43,3896$

Sexta fila: $46,0133 / 9,4868 = 4,8502$

Procedimiento de cálculo de los porcentajes de arcillas, limos, arenas y la textura

- 17-Se grafica en papel semi-logarítmico (figura 28) el porcentaje acumulativo Z_t en la escala no logarítmica versus el diámetro de partículas sedimentado a los diferentes tiempos de lectura de R en la escala logarítmica
- 18-Para estimar la textura por el método del USDA se realiza la primera lectura en la figura 28 para un diámetro de 2,0 micras (correspondiente al mayor tamaño de las arcillas o coloides inorgánicos del suelo según USDA) corresponde el porcentaje acumulativo sedimentado Z_{t_1} . Para nuestro caso $Z_{t_1} = 58,5 \%$ lo que se interpreta que el porcentaje de arcillas es del 58,5 %.
- 19-De la misma manera se lee en la figura 28 para un diámetro a 50 micras (correspondiente al mayor tamaño de los limos según la definición del USDA) corresponde el segundo porcentaje acumulativo Z_{t_2} . Para nuestro caso $Z_{t_2} = 87$
- 20-Los limos se calculan restándole a la segunda lectura del porcentaje acumulativo Z_t la primera lectura del mismo porcentaje que es el correspondiente a la lectura de las arcillas como se muestra en el cuadro 24

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarriavae@gmail.com

$$\% \text{ Limos} = Z_{t2} - Z_{t1}$$

$$\% \text{ Limos} = Z_{t2} - \% \text{ Arcillas}$$

$$\% \text{ Limos} = 87 - 58,5$$

$$\% \text{ Limos} = 28,5 \%$$

21-El porcentaje de arenas se calcula restándole a un total de 100 %, el % Arcillas y el % Limos como se muestra en el cuadro 24

$$\% \text{ Arenas} = 100 - \% \text{ Arcillas} - \text{Limos}$$

$$\% \text{ Arenas} = 100 \% - 58,5 \% - 28,5 \%$$

$$\% \text{ Arenas} = 13 \%$$

22-Se intersecan los valores en el triángulo textural de la figura 27 y nos da la que para nuestro caso es textura arcillosa

23-Para estimar la textura por el método del sistema internacional (SI) se realiza la primera lectura en la figura 28 para un diámetro de 2,0 micras (correspondiente al mayor tamaño de las arcillas o coloides inorgánicos del suelo según SI) el cual es el porcentaje acumulativo sedimentado Z_{t1} . Para nuestro caso $Z_{t1} = 58,5 \%$ lo que se interpreta que el porcentaje de arcillas es del 58,5 %.

24-De la misma manera se lee en la figura 28 para un diámetro a 20 micras (correspondiente al mayor tamaño de los limos según la definición del SI) el cual es el segundo porcentaje acumulativo Z_{t2} . Para nuestro caso $Z_{t2} = 78,5$

25-Los limos se calculan restándole a esta segunda lectura del porcentaje acumulativo la primera lectura del mismo porcentaje que es el correspondiente a la lectura de las arcillas como se muestra en el cuadro 25

$$\% \text{ Limos} = Z_{t2} - Z_{t1}$$

$$\% \text{ Limos} = Z_{t2} - \% \text{ Arcillas}$$

$$\% \text{ Limos} = 78,5 - 58,5$$

$$\% \text{ Limos} = 20,0 \%$$

26-El porcentaje de arenas se calcula restándole a un total de 100 % se la resta el % Arcillas y el % Limos como se muestra en el cuadro 25

$$\% \text{ Arenas} = 100 - \% \text{ Arcillas} - \text{Limos}$$

$$\% \text{ Arenas} = 100 \% - 58,5 \% - 20,0 \%$$

$$27-\% \text{ Arenas} = 21,5 \%$$

28-Se intersecan los valores en el triángulo textural de la figura 22 y nos da una textura arcillosa

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

Cuadro 24: De la figura 28 se leen los porcentajes acumulados correspondientes a los diámetros de partículas de las arcillas y los limos según el USDA y de la figura 22 se estima la textura

Sistema del USDA		
Diámetro menor a 2 micras=	58,5	%
Diámetro menor a 50 micras=	87,0	%
% Arcillas =	58,5	%
%limos =	28,5 = (87-58,5)%	%
% Arenas=	13,0 = (100-28,5-58,5)%	%
Suma total=	100	ok
Textura (del triángulo)=	Arcilloso	

Cuadro 25: De la figura 28 se leen los porcentajes acumulados correspondientes a los diámetros de partículas de las arcillas y los limos según el SI y de la figura 22 se estima la textura

Sistema Internacional		
Diámetro menor a 2 micras=	58,5	%
Diámetro menor a 20 micras=	78,5	%
% Arcillas =	58,5	%
%limos =	20 (78,5-58,5)	%
% Arenas=	21,5 (100-58,5-20)	%
Suma total=	100	ok
Textura (del triángulo)=	Arcilloso	

CC BY-NC-ND 4.0

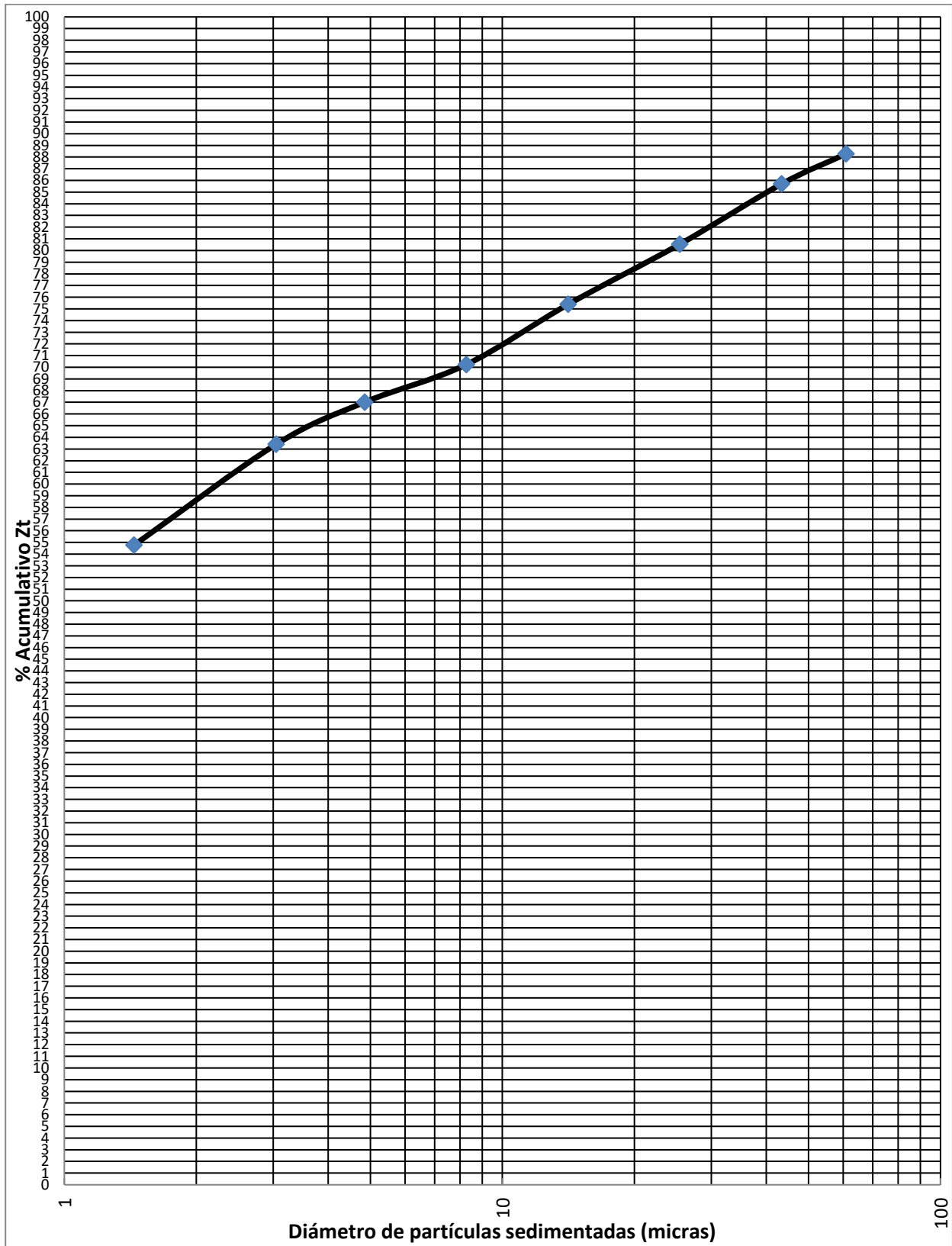


Figura 28: Ejemplo del gráfico de sedimentación acumulada (%) de las partículas con respecto al diámetro (micras) de las partículas para la estimación de la textura del suelo

CC BY-NC-ND 4.0

Como se mencionó, en este método se pueden hacer variaciones en los tiempos de lectura y del número de lecturas. Como tal, otra recomendación para las lecturas con los siguientes intervalos de tiempo mediante el método del hidrómetro son: tomar lecturas a los 1, 2, 3, 4, 8, 15, 30, 60 minutos (1,0 horas), y 2, 4, 8, 16, 32, 64 y 96 horas donde el procedimiento de cálculo es el mismo y otro muy semejante es realizar las lecturas a los 30 segundos, 1, 3, 10, 30, 60 (1,0 horas), 90 (1 hora y 30 minutos), 120 (2,0 horas) y 1440 (24,0 hora) minutos.

En esta recomendación se debe tener especial cuidado con la disminución del agua de la mezcla en el cilindro sedimentador debido a la evaporación para lo cual se deben de tomar medidas para que no suceda dicha disminución.

Los intervalos sugeridos después de dos horas para registrar mediciones son solo aproximados ya que a cualquier tiempo se pueden tomar.

Se recuerda que se debe realizar todas las medidas externas y de registrar la lectura de temperatura con cada registro de hidrómetro 152H.

El cálculo se realiza de la misma manera al ejemplo anterior.

Se muestra a continuación las medidas hechas por el Ing. Agrónomo Gilberto Cabalceta A. M.Sc., del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica, como un segundo ejemplo donde se varió levemente el tiempo de lectura y se utilizaron los tiempos de 30, 60 segundos; 3, 10, 40, 100 (1 h y 40 min), 250 (4 h y 10 min) y 1400 (23 h y 20 min) minutos.

CC BY-NC-ND 4.0

Medidas realizadas para el cálculo de la textura

Cuadro 26: Datos tomados (para los tiempos de 0,5 1; 3, 10, 40, 100, 250 y 1400 min) para el cálculo del diámetro de partículas sedimentado para el método del Comité sobre Física de la Sociedad de la Ciencia del Suelo de los Estados Unidos

			Tiempo de sedimentación (min)	Temperatura (°C)	Lectura del hidrómetro (g/cm ³) R
			1	2	3
RL (lectura hidrómetro sin suelo (agua destilada + dispersante a 1 litro sin el densímetro adentro))=	-1,5	g/l	0,5	26	9,5
Temperatura (lectura sin suelo)L=	24	°C	1	26	7
Densidad real de partículas=	2,5	g/cm ³	3	26	4
Ph=			10	26	2
Ps=			40	25	1
HG=	11	%	100	25	-0,5
Masa muestra secada al aire=	40	g(suelo+agua)	250	25	-0,75
Masa real = (Msecaal aire/(1+(%HG/100)))	36,0360	g_suelo	1400	23	-1

Con la información del cuadro 26 se procede a realizar la estimación de la textura.

CC BY-NC-ND 4.0

Cuadro 27: Cálculo del porcentaje acumulativo sedimentado Z_t para la estimación de la textura por el método del Comité sobre Física de la Sociedad de la Ciencia del Suelo de los Estados Unidos (para los tiempos de 0,5 1; 3, 10, 40, 100, 250 y 1400 min) (continuación del cuadro 20)

Corrección RL de la calibración Cuadro 17	Cálculo corrección RL de la Calibración	Cálculo de la corrección RL	Concentración o lectura corregida C = R - RL	Corrección de concentración Cuadro 18 f= 1,04	Porcentaje Acumulativo Zt
4	5	6	7	8	9
0,25	-0,5	-2	11,5	11,9600	33,1890
0,25	-0,5	-2	9	9,3600	25,9740
0,25	-0,5	-2	6	6,2400	17,3160
0,25	-0,5	-2	4	4,1600	11,5440
0,25	-0,25	-1,75	2,75	2,8600	7,9365
0,25	-0,25	-1,75	1,25	1,3000	3,6075
0,25	-0,25	-1,75	1	1,0400	2,8860
0,2	0,2	-1,3	0,3	0,3120	0,8658

Procedimiento de cálculo del cuadro 27

Se procede a calcular el porcentaje acumulativo de sedimentación de la muestra de suelo llamado Z_t que se muestra en la columna 9 del cuadro 27 con el siguiente procedimiento:

- 1- Del cuadro 17 se toma el valor de R_L de corrección tabular para calcular la corrección debida a la temperatura de cada lectura mostrado en la columna 4 del cuadro 27.
Primera fila: para la temperatura de 26 °C $R_L = 0,25$
Segunda fila: para la temperatura de 26 °C $R_L = 0,25$
Séptima fila: para la temperatura de 25 °C $R_L = 0,25$
- 2- El cálculo de la corrección R_L de la calibración se muestra en la columna 5 del cuadro 27 la cual se realiza mediante la siguiente ecuación
(temperatura lectura sin suelo cuadro 20 (valor único fijo)) – temperatura de cada lectura R) * valor de columna 4
(temperatura lectura sin suelo cuadro 20 (valor único fijo)) – temperatura de cada lectura) * valor de corrección R_L

CC BY-NC-ND 4.0

Una muestra del cálculo es:

$$\text{Primera fila: } (24 - 26) * 0,25 = -0.50$$

$$\text{Segunda fila: } (24 - 26) * 0,25 = -0.50$$

$$\text{Sexta fila: } (24 - 25) * 0,25 = -0.25$$

- 3- A la lectura del hidrómetro sin suelo del cuadro 26 (que es en sí misma una corrección), se le suma a cada una de las correcciones calculadas R_L (de la corrección por temperatura) correspondiente a la columna 5 como se muestra en la columna 6 del cuadro 27

Se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$\text{Columna 6} = \text{Lectura del hidrómetro sin suelo del cuadro 26} + \text{valor de columna 5}$$

$$\text{Columna 6} = \text{Lectura del hidrómetro sin suelo del cuadro 26} + \text{cálculo de corrección } R_L$$

Una muestra del cálculo es:

$$\text{Primera fila: } (-1,50 + -0,50) = -2.00$$

$$\text{Segunda fila: } (-1,50 + -0,50) = -2.00$$

$$\text{Sexta fila: } (-1,50 + -0,25) = -1,75$$

- 4- La concentración o lectura corregida se muestra en la columna 7 del cuadro 27 que se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\text{columna 3 del cuadro 26} - \text{columna 6 del cuadro 27} = \text{columna 7 del cuadro 27}$$

$$R - R_L = C$$

$$\text{Lectura del hidrómetro} - \text{cálculo de la corrección} = \text{concentración (lectura corregida)}$$

Una muestra del cálculo es:

$$\text{Primera fila: } (9,50 - (-2,00)) = 11,50$$

$$\text{Segunda fila: } (7,00 - (-2,00)) = 9,00$$

$$\text{Sexta fila: } (-0,50 - (-1,75)) = 1,25$$

- 5- Para calcular la corrección de la concentración “**f**” por densidad real de partículas que se muestra en la columna 8 del cuadro 27, se utiliza el cuadro 18 y se realiza cuando el valor de la densidad real de partículas es diferente a 2,65 g/l. Como la densidad aparente es de 2,50 g/l, del cuadro 18 se toma el valor **f = 1,04**. El valor f obtenido se multiplica por cada valor de “C” mostrado en la columna 7 del cuadro 27:

Se puede utilizar las siguientes ecuaciones:

$$\text{Columna 8} = f (\text{cuadro 18}) * \text{columna 7 del cuadro 27}$$

$$\text{Columna 8} = f (\text{cuadro 18}) * \text{cada valor de C}$$

Una muestra del cálculo es:

$$\text{Primera fila: } 11,50 * 1.04 = 11,9600$$

$$\text{Segunda fila: } 9,0 * 1.04 = 9,3600$$

$$\text{Sexta fila: } 1,25 * 1.04 = 1,3000$$

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

- 6- Se debe calcular el % acumulativo sedimentado (Zt) el cual se debe de graficar con el diámetro de partículas correspondiente a dicha sedimentación para conocer los porcentajes de arcillas, limos y arenas.

Para el cálculo de este porcentaje acumulativo (Zt) que se muestra en la columna 9 del cuadro 27 se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$Z_t(i) = \frac{\text{columna 8 del cuadro 27}}{\text{masa real (g de suelo) del cuadro 26 (calculado externo al método)}} * 100$$

$$Z_t(i) = \frac{\text{concentración corregida (por temperatura y densidad de partículas)}}{\text{masa real (g de suelo)}} * 100$$

Una muestra del cálculo es:

$$Z_t(1) = \frac{11,9600}{36,0360} * 100 = 33,1890$$

$$Z_t(2) = \frac{9,3600}{36,0360} * 100 = 25,9740$$

$$Z_t(6) = \frac{1,3000}{36,0360} * 100 = 3,6075$$

Cuadro 28: Cálculo del valor del promedio ponderado de “b” cuando la temperatura varía durante la sedimentación (para los tiempos de 0,5; 1, 3, 10, 40, 100, 250 y 1400 min) para aplicarse por el método del Comité sobre Física de la Sociedad de la Ciencia del Suelo de los Estados Unidos (terminación del cuadro 9 y cálculo de la columna 11 del cuadro 23)

Tiempo de sedimentación acumulado (min)	Tiempo de sedimentación menos tiempo de sedimentación anterior	Temperatura de medición	Valor de <i>b</i> tabular según temperatura y densidad real de partículas Cuadro 21	(11-2) * (11-4)	Suma de valores (11-6)ⁱ⁻¹ + (11-5)ⁱ	Promedio ponderado de b (11-6) / (11-1)
(11-1)	(11-2)	(11-3)	(11-4)	(11-5)	(11-6)	(11-7)
0,5	0,5-0 = 0,5	26	1,097	0,5485	0,5485	1,0970
1	1-0,5 = 0,5	26	1,097	0,5485	1,097	1,0970
3	3-1 = 2	26	1,097	2,194	3,291	1,0970
10	10-3 = 7	26	1,097	7,679	10,97	1,0970
40	40-10 = 30	25	1,11	33,3	44,27	1,1068
100	100-40 = 60	25	1,11	66,6	110,87	1,1087
250	250-100 = 150	25	1,11	166,5	277,37	1,1095
1400	1400-250 = 1150	23	1,136	1306,4	1583,77	1,1313

Procedimiento de cálculo del cuadro 28

7- Se toma el tiempo de sedimentación acumulado (columna (11-1) que es la misma columna 1 del cuadro 26) y se calcula cada tiempo real de sedimentación para cada lectura como se observa en el cuadro 28 de la siguiente manera:

$$\text{Columna (11-2)}_i = \text{columna (11-1)}_i - \text{columna (11-1)}_{i-1}$$

Una muestra de cálculo de cada tiempo de sedimentación es:

Primera fila: $0,5 - 0 = 0,5$ minutos

Segunda fila: $1,0 - 0,5 = 0,5$ minutos

Sexta fila: $100 - 40 = 60$ minutos

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

- 8- Luego para cada una de las temperaturas de medición (columna (11-3) que es la misma columna 2 del cuadro 26) se toma del cuadro 21 el valor de corrección “b” tabular según temperatura y densidad real de partículas y se escribe en la columna (11-4) como se muestra en el cuadro 28.

Una muestra de cálculo de cada tiempo de sedimentación es:

Primera fila:

Temperatura = 26 °C, densidad real de partículas = 2,60 g/cm³ → $b_{\text{tabular}} = 1,097$

Segunda fila:

Temperatura = 26 °C, densidad real de partículas = 2,60 g/cm³ → $b_{\text{tabular}} = 1,097$

Sexta fila:

Temperatura = 25 °C, densidad real de partículas = 2,60 g/cm³ → $b_{\text{tabular}} = 1,110$

- 9- Para calcular un promedio ponderado del valor de “b” del cuadro 28, se multiplica el valor tabular de “b” columna (11-4) del cuadro 28 por el tiempo real de sedimentación columna (11-2) del mismo cuadro y se tabulan en la columna (11-5) del mismo cuadro.

Columna (11-5) = columna (11-2) * columna (11-4)

Una muestra de cálculo de cada tiempo de sedimentación es:

Primera fila: $0,50 * 1,097 = 0,5485$

Segunda fila: $0,50 * 1,097 = 0,5485$

Sexta fila: $60 * 1,110 = 66,60$

- 10- Luego se suman los valores resultantes de la multiplicación y tabulados en la columna (11-5) del cuadro 28 de manera acumulada y se tabulan en la columna (11-6) del mismo cuadro

Columna (11-6)_i = columna (11-6)_{i-1} + columna (11-5)_i

Una muestra de cálculo de cada tiempo de sedimentación es:

Primera fila: $0,5485 + 0 = 0,5485$

Segunda fila: $0,5485 + 0,5485 = 1,097$

Sexta fila: $44,27 + 66,60 = 110,87$

- 11- Por último para estimar el promedio ponderado de “b” (columna (11-7)) del cuadro 28 se dividen los valores obtenidos de la suma acumulada descrita en el paso 10 (paso anterior) (columna (11-6)) entre el tiempo de sedimentación acumulado (columna (11-1))

Columna (11-7) = columna (11-6) / columna (11-1)

Una muestra de cálculo de cada tiempo de sedimentación es:

Primera fila: $0,5485 / 0,5 = 1,0970$

Segunda fila: $1,097 / 1,0 = 1,097$

Sexta fila: $110,87 / 100 = 1,1087$

CC BY-NC-ND 4.0

Procedimiento de cálculo del cuadro 23

- 12-Del cuadro 20 se toman los valores del parámetro θ según Day para R (columna 3 del cuadro 26) para las diferentes lecturas realizadas con el hidrómetro (g/cm^3 de mezcla en suspensión) a los diferentes tiempos previamente establecidos y se tabulan en la columna 10 del cuadro 29.
- 13-Se tabula al lado de la columna 10, en la columna 11 del cuadro 29 el promedio ponderado del factor de corrección para el parámetro θ según Day que es el mismo valor encontrado en la columna (11-7) del cuadro 28
- 14-Se multiplican los valores de la columna 10 con los valores de la columna 11 ($\theta * b$) del cuadro 29 y se tabulan en la columna 12 del mismo cuadro
Una muestra de cálculo:
Primera fila: $46,9 * 1,0970 = 51,4493$
Segunda fila: $47,4 * 1,0970 = 51,9978$
Sexta fila: $49,3 * 1,1087 = 54,6589$
- 15-Se calcula la columna 13 del cuadro 29 mediante la raíz cuadrada del tiempo de sedimentación que se refiere a cada tiempo a la que se hizo cada lectura R (ubicado en la columna 1) del cuadro 20 con el hidrómetro 152-H
Una muestra de cálculo:
Primera fila: $(0,5)^{1/2} = 0,7071$
Segunda fila: $(1,0)^{1/2} = 1,0$
Sexta fila: $(100)^{1/2} = 10,00$

CC BY-NC-ND 4.0

Cuadro 29: Cálculo del diámetro de partículas sedimentado (para los tiempos de 0,5 1; 3, 10, 40, 100, 250 y 1400 min) para el método del Comité sobre Física de la Sociedad de la Ciencia del Suelo de los Estados Unidos (terminación del cuadro 14 y continuación de los cuadros 26 y 27)

θ Cuadro 20	b Columna 11-7 del cuadro 28 Promedio ponderado del factor de corrección para θ	$\theta * b$	Raíz cuadrada del tiempo sedimentación $(t_{\text{sedimentación}})^{1/2}$	Diámetro
				de las
				Partículas (micras)
				$\theta * b / (t_{\text{sedimentación}})^{1/2}$ (12)/(13)
(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
46,9	1,0970	51,4493	0,7071	72,76030
47,4	1,0970	51,9978	1,0000	51,99780
48,2	1,0970	52,8754	1,7321	30,52763
48,7	1,0970	53,4239	3,1623	16,89412
48,9	1,1068	54,1201	6,3246	8,55714
49,3	1,1087	54,6589	10,0000	5,46589
49,35	1,1095	54,7528	15,8114	3,46287
49,1	1,1313	55,5451	37,4166	1,48450

16-Se calcula el diámetro de las partículas sedimentado (columna 14 del cuadro 29) a los tiempos de lectura definidos, dividiendo los valores de la multiplicación $\theta * b$ (columna 12) entre la raíz cuadrada del tiempo de sedimentación (columna 13)

Una muestra de cálculo:

Primera fila: $51,4493 / 0,7071 = 72,76030$

Segunda fila: $51,9978 / 1,0 = 51,9978$

Sexta fila: $54,6589 / 10,0000 = 5,46589$

Procedimiento de cálculo de los porcentajes de arcillas, limos, arenas y la textura

17-Se grafica en papel semi-logarítmico (figura 29) el porcentaje acumulativo Z_t en la escala no logarítmica versus el diámetro de partículas sedimentado a los diferentes tiempos de lectura de R en la escala logarítmica

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

- 18-Para estimar la textura por el método del USDA se realiza la primera lectura en la figura 29 para un diámetro de 2,0 micras (correspondiente al mayor tamaño de las arcillas o coloides inorgánicos del suelo según USDA) corresponde el porcentaje acumulativo sedimentado Z_{t1} . Para nuestro caso $Z_{t1} = 1,6 \%$, lo que se interpreta que el porcentaje de arcillas es del 1,6 %.
- 19-De la misma manera se lee en la figura 29 para un diámetro a 50 micras (correspondiente al mayor tamaño de los limos según la definición del USDA) corresponde el segundo porcentaje acumulativo Z_{t2} . Para nuestro caso $Z_{t2} = 25,1$
- 20-Los limos se calculan restándole a la segunda lectura del porcentaje acumulativo Z_t , la primera lectura del mismo porcentaje que es el correspondiente a la lectura de las arcillas como se muestra en el cuadro 30
- $$\% \text{ Limos} = Z_{t2} - Z_{t1}$$
- $$\% \text{ Limos} = Z_{t2} - \% \text{ Arcillas}$$
- $$\% \text{ Limos} = 25,1 - 1,6$$
- $$\% \text{ Limos} = 23,5 \%$$
- 21-El porcentaje de arenas se calcula restándole a un total de 100 %, el % Arcillas y el % Limos como se muestra en el cuadro 30
- $$\% \text{ Arenas} = 100 - \% \text{ Arcillas} - \text{Limos}$$
- $$\% \text{ Arenas} = 100 \% - 1,6 \% - 23,5 \%$$
- $$\% \text{ Arenas} = 74,9 \%$$
- 22-Se intersecan los valores en el triángulo textural de la figura 27 y nos da la que para nuestro caso es textura arenosa franca
- 23-Para estimar la textura por el método del sistema internacional (SI) se realiza la primera lectura en la figura 29 para un diámetro de 2,0 micras (correspondiente al mayor tamaño de las arcillas o coloides inorgánicos del suelo según SI) el cual es el porcentaje acumulativo sedimentado Z_{t1} . Para nuestro caso $Z_{t1} = 1,6 \%$, lo que se interpreta que el porcentaje de arcillas es del 1,6 %.
- 24-De la misma manera se lee en la figura 29 para un diámetro a 20 micras (correspondiente al mayor tamaño de los limos según la definición del SI) el cual es el segundo porcentaje acumulativo Z_{t2} . Para nuestro caso $Z_{t2} = 12,8$
- 25-Los limos se calculan restándole a esta segunda lectura del porcentaje acumulativo la primera lectura del mismo porcentaje que es el correspondiente a la lectura de las arcillas como se muestra en el cuadro 31

CC BY-NC-ND 4.0

$$\begin{aligned} \% \text{ Limos} &= Z_{t_2} - Z_{t_1} \\ \% \text{ Limos} &= Z_{t_2} - \% \text{ Arcillas} \\ \% \text{ Limos} &= 12,8 - 1,6 \\ \% \text{ Limos} &= 11,2 \% \end{aligned}$$

26-El porcentaje de arenas se calcula restándole a un total de 100 % se la resta el % Arcillas y el % Limos como se muestra en el cuadro 31

$$\begin{aligned} \% \text{ Arenas} &= 100 - \% \text{ Arcillas} - \text{Limos} \\ \% \text{ Arenas} &= 100 \% - 1,6 \% - 11,2 \% \\ \% \text{ Arenas} &= 87,2 \% \end{aligned}$$

27-Se intersecan los valores en el triángulo textural de la figura 27 y nos da una textura arenosa

Cuadro 30: De la figura 29 se leen los porcentajes acumulados correspondientes a los diámetros de partículas de las arcillas y los limos según el USDA y de la figura 22 se estima la textura (para los tiempos de 0,5 1; 3, 10, 40, 100, 250 y 1400 min)

USDA		
Diámetro menor a 2 micras=	1,6	%
Diámetro menor a 50 micras=	25,1	%
% Arcillas =	1,6	%
%limos =	23,5	(25,1-1,6) %
% Arenas=	74,9	(100-23,5-1,6) %
Total=	100	ok
Textura=	Arenosa franca	

Cuadro 31: De la figura 29 se leen los porcentajes acumulados correspondientes a los diámetros de partículas de las arcillas y los limos según el SI y de la figura 22 se estima la textura (para los tiempos de 0,5 1; 3, 10, 40, 100, 250 y 1400 min)

Sistema Internacional (SI)		
Diámetro menor a 2 micras=	1,6	%
Diámetro menor a 20 micras=	12,8	%
% Arcillas =	1,6	%
%limos =	11,2	(12,8-1,6) %
% Arenas=	87,2	(100-11,2-1,6) %
Total=	100	ok
Textura=	Arenosa	

CC BY-NC-ND 4.0

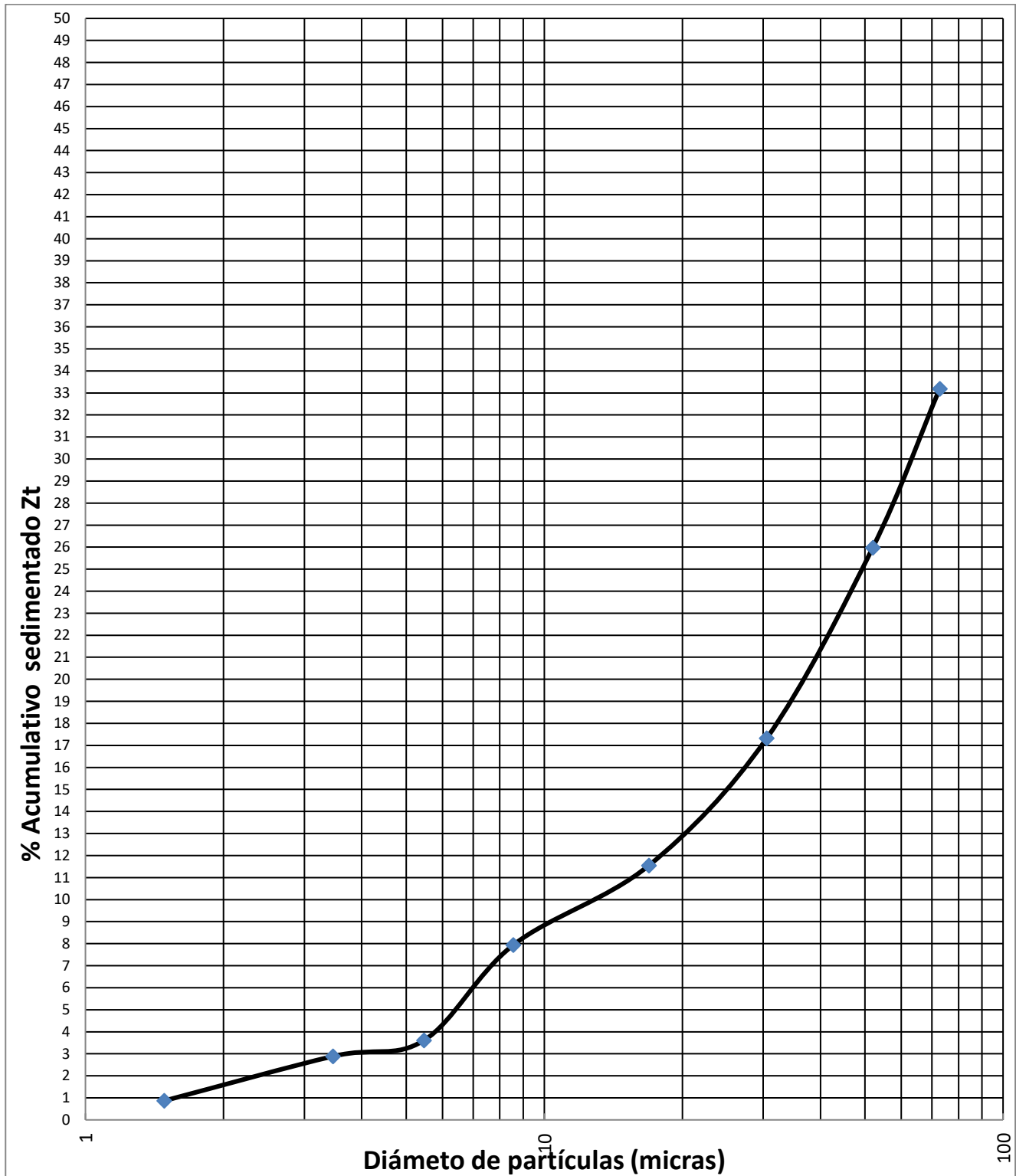


Figura 29: Ejemplo del gráfico de sedimentación acumulada (%) de las partículas con respecto al diámetro (micras) de las partículas para la estimación de la textura del suelo (para los tiempos de 0,5 1; 3, 10, 40, 100, 250 y 1400 min)

CC BY-NC-ND 4.0

Distribución del tamaño de partículas del suelo por el método del densímetro de Bouyoucos (Tomado de: Análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad)

Se fundamenta en que el parámetro de sedimentación es una función de la profundidad de asentamiento, densidad de las partículas, de la viscosidad y de la densidad de la solución (Cuadros 10, 11, 32, 33, 34, 35 y Fig. 30).

El método se basa en la Ley de Stokes en virtud de la cual una partícula esférica sólida cae en el seno de un medio líquido de densidad menor con velocidad uniforme ya que las fuerzas que intervienen (gravedad y resistencia) se igualan y esta velocidad es función del tamaño de la partícula.

Por eso, el análisis de sedimentación se basa en la relación que existe entre la velocidad de caída de la partícula y su diámetro. A un tiempo dado, las partículas de mayor tamaño se habrán sedimentado y solo quedarán en suspensión las de tamaño menor.

Como las partículas son de forma irregular definimos un tamaño efectivo: diámetro de la esfera, cuya densidad y velocidad de sedimentación en un fluido dado es igual al de la partícula.

Procedimiento:

- 1- Pesar 40 g de suelo fino seco al aire (en el caso de suelos arcillosos se debería pesar mejor 25 g) en un vaso de precipitación de 250 ml
- 2- Se le añaden 100 ml de la solución dispersante y se deja durante toda la noche (en el caso de prácticas se deja durante 10 min). Se añade agua hasta la marca de 200 ml y se bate durante 5 min
- 3- Se transfiere el contenido del vaso de precipitado a una probeta de 1 L poniendo en la boca de la probeta un embudo grande y encima un tamizado de malla de 0,2 mm para separar la arena mayor de este tamaño. Para transferir toda el suelo se utiliza agua procurando que el volumen de la suspensión que atraviesa el tamiz no supere los 800 ml.
- 4- Con el contenido del tamiz (arenas mayores a 200 μm)
 - 4.1. Seguidamente se transfiere con ayuda de agua la arena retenida a una capsula de plástico grande en la que se elimina todo el material que flota
 - 4.2. Se transfiere la arena gruesa a una cápsula de aluminio pre-pesada (se anota el peso) y se pone en el horno durante 24 h para eliminar el agua

CC BY-NC-ND 4.0

5- Con el contenido de la probeta:

- El volumen de la suspensión (suelo + dispersante) se enrasa con agua hasta la marca de 1,0 L. En el laboratorio se habrá preparado un blanco en otra probeta que consiste en 100 ml de la solución de dispersante y llevado a la marca de 1 L con agua. Ambas probetas deben estar a la misma temperatura. Anotamos esta temperatura
- Introducimos el densímetro en la probeta del blanco y anotamos la lectura del densímetro “LO” en g/l
- Colocamos la probeta con la suspensión en la parte posterior de la bancada para ya no moverla. Agitamos la suspensión con la varilla agitadora moviéndola de arriba abajo para mezclar bien (aproximadamente 10 veces de arriba abajo). En el momento que sacamos la varilla anotamos el tiempo “to” (hora, minutos y segundos)
- A los 15 segundos introducimos el densímetro y a los 30 segundos contados desde “to” leemos la escala del densímetro (lectura “Ln” que coincide con el borde superior del menisco que rodea el vástago del densímetro). Esta será la lectura $L_{1/2}$ correspondiente al medio minuto (en el caso de que debido a la espuma formada en la superficie no podamos tomar la lectura del densímetro, añadimos 5 gotas de alcohol isoamílico u otro antiespumante y volvemos a agitar)
- Sin sacar el densímetro tomamos la lectura “L1” (para $t=60$ segundos contados desde $t_0=0$). Sacamos el densímetro, lo lavamos con agua destilada. Para el resto de las lecturas, introducir cuidadosamente el densímetro en la suspensión unos 15 segundos antes de tomar la medida y hacer lecturas a 3, 10, 30 (0,5 h), 90 (1,5 h), 360 (6 h), 480 (8 h) y 600 (10 h) minutos (éstas últimas se pueden hacer al día siguiente, volviendo a agitar por ejemplo a las 8:30 de la mañana (entonces se considera “to”) y tomando la lectura a las 6, 8, y 10 horas).
- Cuando la temperatura de la suspensión es diferente a 30 °C se debe corregir el parámetro de sedimentación multiplicando por un factor de corrección de la viscosidad. Para ello debemos anotar la temperatura cada vez que hacemos una medida. Se supone que el blanco y la suspensión estarán a la misma temperatura

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

- La corrección de la lectura del densímetro debido al efecto de la temperatura y de viscosidad y densidad de la solución se hace tomando la lectura en blanco. Esta lectura “Lo” se hace inmediatamente después de “Ln”. La concentración corregida de suelo en suspensión a cualquier tiempo “t” es “C = Ln – Lo” donde “C” se expresa en g/l.
- Incluir los datos en la tabla correspondiente para obtener los resultados de porcentaje (%) de partículas y diámetro equivalente. Las fórmulas se adjuntan en dicha hoja
- Representar gráficamente en papel semilogarítmico los valores de “Di” en función del “%Pi”. De la curva resultante, hallar los porcentajes de las fracciones arena, limo y arcilla según el sistema USDA o cualquier otro. Representar también en el diagrama triangular para determinar la clase textural

Cuadro 32: Determinación de arena gruesa (200 – 2000 µm, ISSS)

(en el caso de que se haya iniciado de 25 g en vez de 40, recordar para calcular “b” que es el peso total de la muestra en el caso de realizarse)

Muestra/ Horizonte	Peso suelo	Peso suelo corregido b	Peso cápsula P ₁	Peso cápsula+ arena gruesa P ₂	Peso arena gruesa (P ₂ -P ₁) =a	% arena gruesa (200-2000µm)
	(g)					
1						
2						
3						
4						

$$\% \text{ arena gruesa ISSS} = \frac{a}{b} \times 100$$

Donde:

a = peso de arena gruesa ISSS = (peso cápsula + arena gruesa ISSS) – peso cápsula

$$b = \text{Peso de suelo corregido (seco a } 105^{\circ}\text{C)} = \frac{\text{Peso suelo seco al aire (40g)}}{100 + \%H} \times 100$$

% H = % humedad de la muestra de suelo

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

Cálculos para la distribución porcentual del tamaño de partículas

Horizonte:

$$D (\mu\text{m}) = \frac{\theta}{\sqrt{t}} \times \sqrt{\frac{\eta_{x^{\circ}\text{C}}}{\eta_{20^{\circ}\text{C}}}}$$

$$\%P = \frac{(L_n - L_0)}{b} \times 100$$

Cuadro 33: Cálculo para la distribución porcentual del tamaño de partículas

Hora h:m:s	Tiempo t' (min)	L _n	Temp T(°C)	L ₀	(L _n -L ₀)	θ	$\sqrt{\frac{\eta_{x^{\circ}\text{C}}}{\eta_{30^{\circ}\text{C}}}}$	$\sqrt{t(\text{min})}$	DIÁMETRO D(μm)	% EN PESO DE PARTICULAS EN SUSPENSIÓN (con tamaño < D)
t ₀ =										
	0,5									
	1									
	3									
	10									

CC BY-NC-ND 4.0

t^* se cuenta desde que sacamos la varilla de agitación

L_n es la lectura del densímetro en la suspensión.

L_0 es la lectura del densímetro en el blanco a la misma T que L_n

θ es el parámetro de sedimentación. Se obtiene de la tabla adjunta **Cuadro 29** en función de la lectura del densímetro en la suspensión.

El factor de corrección $\sqrt{\frac{\eta_{x^\circ C}}{\eta_{30^\circ C}}}$ se obtiene de **Cuadro 28** en función de la temperatura de la suspensión que debe ser la misma que la del blanco.

Cuadro 34: Factor de corrección del diámetro de las partículas para temperaturas diferentes a 30 °C

T (°C)	$\sqrt{\frac{\eta_{x^\circ C}}{\eta_{30^\circ C}}}$	T (°C)	$\sqrt{\frac{\eta_{x^\circ C}}{\eta_{30^\circ C}}}$	T (°C)	$\sqrt{\frac{\eta_{x^\circ C}}{\eta_{30^\circ C}}}$
12	1,24	19	1,13	26	1,04
13	1,23	20	1,12	27	1,04
14	1,21	21	1,10	28	1,02
15	1,19	22	1,09	29	1,01
16	1,18	23	1,08	30	1,00
17	1,16	24	1,07	31	0,99
18	1,14	25	1,05	32	0,98

Tomado de: (Day 1965)

Cuadro 35: Valores de θ en función de las lecturas observadas en el densímetros (Day 1965)

L_n	θ	L_n	θ	L_n	θ	L_n	θ
-5	50,4	7	47,4	19	44,2	31	40,7
-4	50,1	8	47,2	20	43,9	32	40,4
-3	49,9	9	47,0	21	43,7	33	40,1
-2	49,6	10	46,7	22	43,4	34	39,8
-1	49,4	11	46,4	23	43,1	35	39,5
0	49,2	12	46,2	24	42,8	36	39,2
1	48,9	13	45,9	25	42,5	37	38,9
2	48,7	14	45,6	26	42,2	38	38,6
3	48,4	15	45,3	27	41,9	39	38,3
4	48,2	16	45,0	28	41,6	40	38,0
5	47,9	17	44,8	29	41,3		
6	47,7	18	44,5	30	41,0		

Tomado de: (Day 1965)

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

L_n es la lectura del densímetro

θ el parámetro de sedimentación. Es función de la profundidad de inmersión del densímetro, de la viscosidad de la solución y de la densidad de la solución y de las partículas.

(1 cpoise = 10^{-3} Kg/m.seg)

Ejemplo de cálculo (Cuadro 36, 37, 38 y Figuras 31 y 32):

Se logra observar en el ejemplo la siguiente distribución

- 1- Las columnas 1, 2, 3, 4 y 5 es información de la las medidas en el laboratorio
- 2- La columna 6 es la resta de la columna 3 – columna 5
- 3- Columna 7 se toma del cuadro 35
- 4- La columna 8 se toma del cuadro 34
- 5- La columna 9 es la raíz cuadrada de la columna 2
- 6- La columna 10 o el diámetro se calcula así: ((columna 7 / columna 9) * columna 8)
- 7- La columna 11 se calcula así: (columna 6 / b) * 100 (**recordar que b es el peso total de la muestra**)
- 8- Se grafican las columnas 10 (eje X) vs la columna 11 (eje Y)
- 9- De la gráfica se toman los valores correspondientes a el tamaño de partículas y su respectivo porcentaje acumulado de sedimentación
- 10- Con los valores del punto “9” se entra en el triángulo textural (Figura 27) según sistema de clasificación escogido

CC BY-NC-ND 4.0

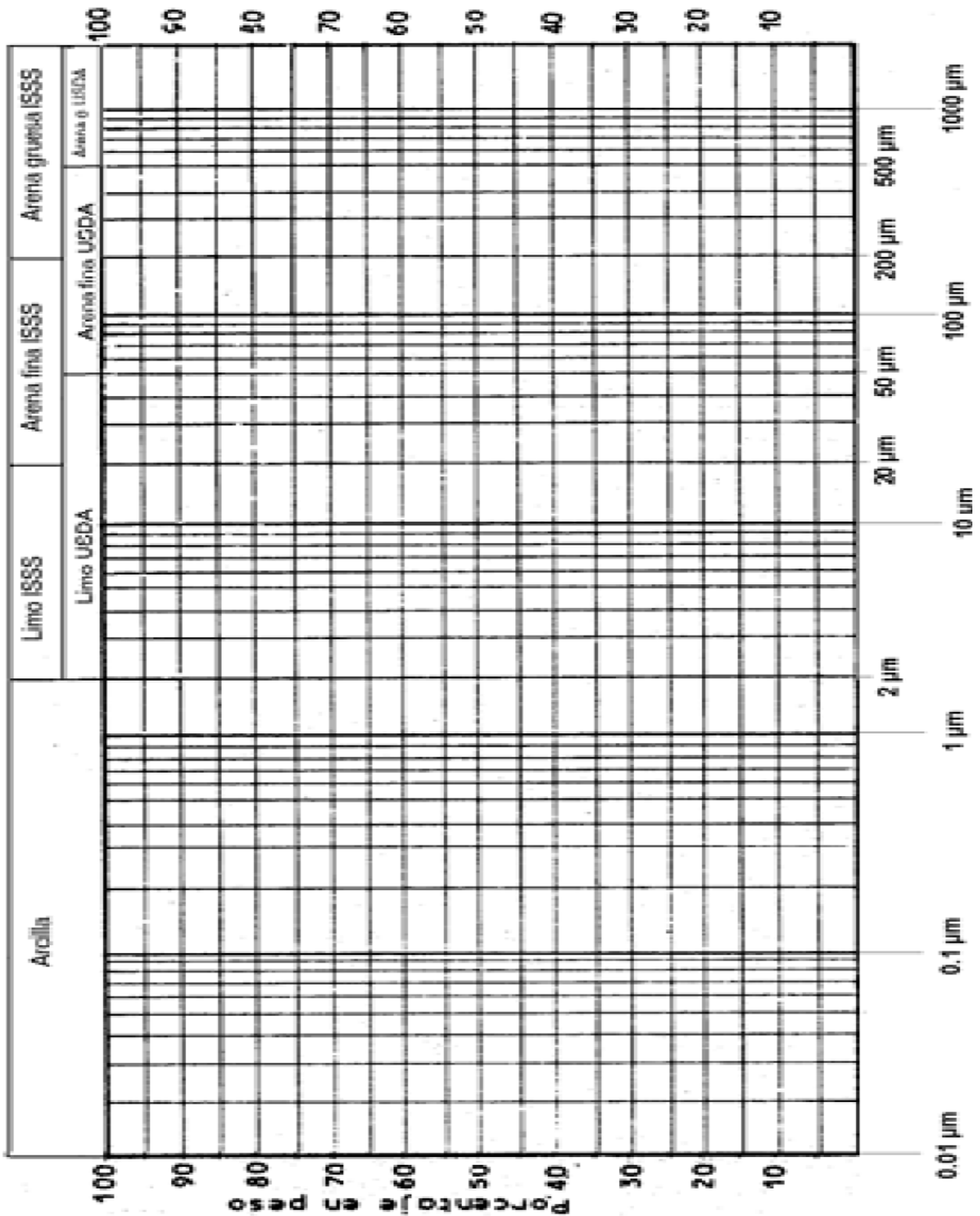


Figura 30: Ejemplo del gráfico de semilogarítmico para la estimación de la textura del suelo (a 3, 10, 30 (0,5 h), 90 (1,5 h), 360 (6 h), 480 (8 h) y 600 (10 h) minutos)

CC BY-NC-ND 4.0

Cuadro 36: Cálculos de textura con esta metodología

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Hora (hh:min:seg)	Tiempo t(min)	Ln (g/l)	Temp T(°C)	Lo (g/l)	(Ln - Lo) (g/l)	" θ "	$\sqrt{\frac{\eta_{x0C}}{\eta_{300C}}}$	$\sqrt{t(min)}$	Diámetro D(μ m)	% en peso de partículas en suspensión (con tamaño < D)
to =	0					Cuadro 29 d	Cuadro 29 c			
	0,5	35	25	-0,5	35,5	39,5	1,05	0,70710678	58,6545075	88,75
	1	32,5	25	-0,5	33	40,25	1,05	1	42,2625	82,5
	3	29	25	-0,5	29,5	41,3	1,05	1,73205081	25,0367944	73,75
	10	25,5	25	-0,5	26	42,35	1,05	3,16227766	14,0618582	65
	30	24	25	-0,5	24,5	48,8	1,05	5,47722558	9,35510128	61,25
	90	22	25	-0,5	22,5	43,4	1,05	9,48683298	4,80349977	56,25
	360	20	24	0	20	43,9	1,07	18,973666	2,47569448	50
	480	18,5	23	0,5	18	44,2	1,08	21,9089023	2,17884033	45
	600	18	23	0,5	17,5	44,5	1,08	24,4948974	1,96204128	43,75

b = Peso total = 40 g/l

CC BY-NC-ND 4.0

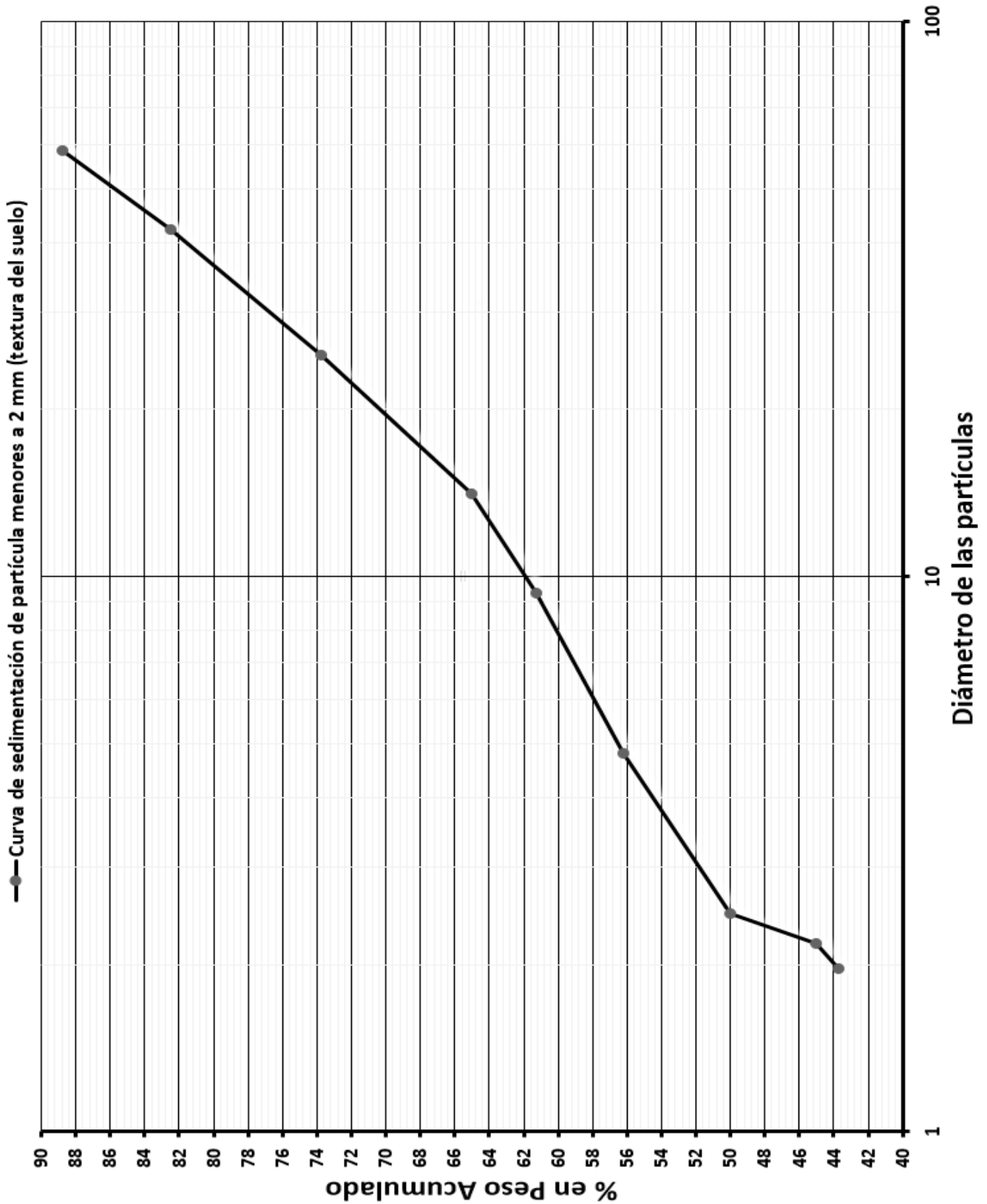


Figura 31: Gráfico de sedimentación acumulada linealizada para el cálculo de la textura según esta metodología del cuadro 36

CC BY-NC-ND 4.0

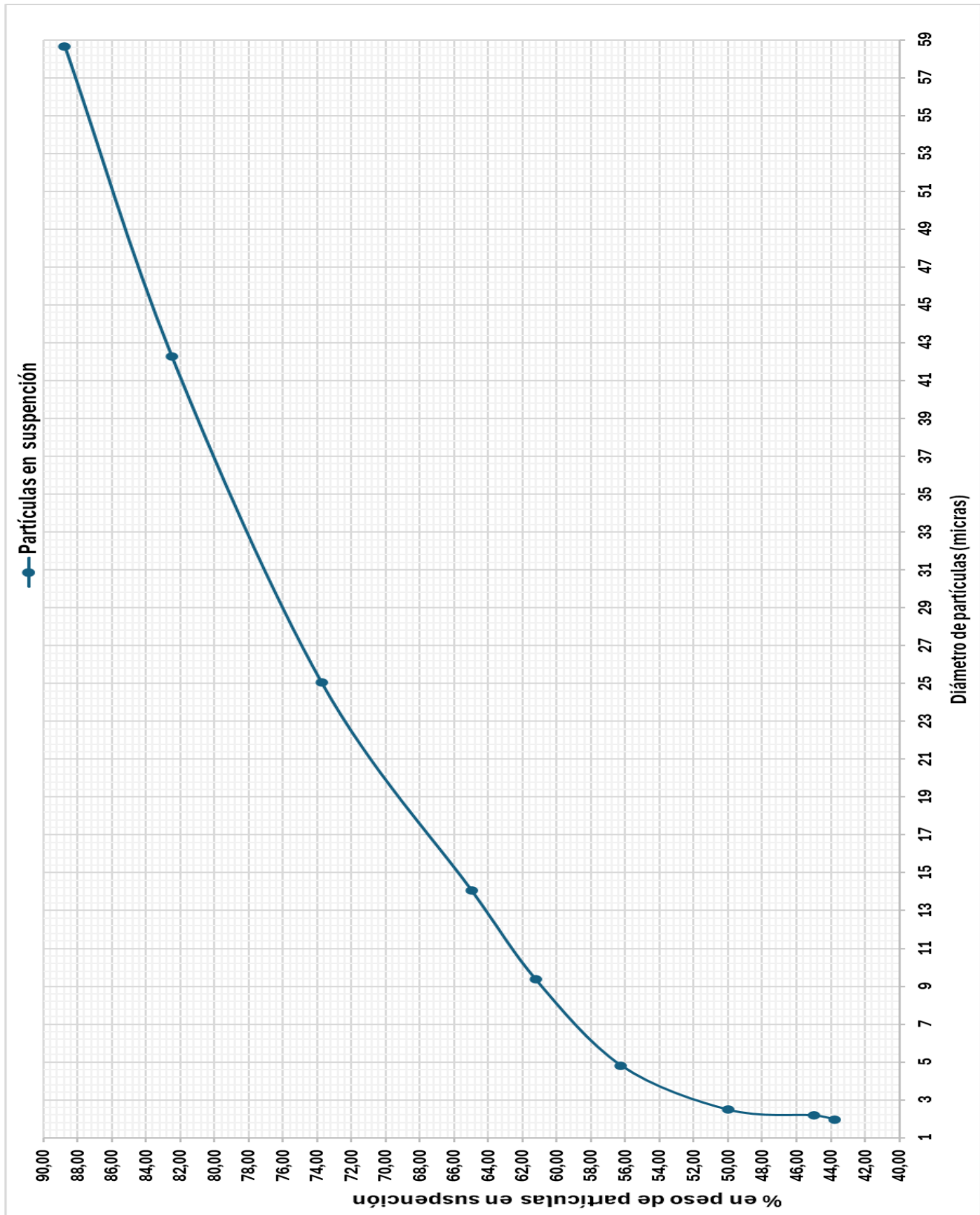


Figura 32: Gráfico de sedimentación acumulada sin linealizar para el cálculo de la textura según esta metodología del cuadro 36

CC BY-NC-ND 4.0

Cuadro 37: Cálculo de las cantidades de Arcillas, Limos y Arenas para calcular en el triángulo textural la textura según el sistema USDA

Sistema del USDA			
Diámetro menor a 2 micras=	44		%
Diámetro menor a 50 micras=	85,5		%
% Arcillas =	44		%
%limos =	41,5	(85,5-44)	%
% Arenas=	14,5	(100-44-41,5)	%
Total=	100	ok	
Textura=	Arcillo Limosa		

Cuadro 38: Cálculo de las cantidades de Arcillas, Limos y Arenas para calcular en el triángulo textural la textura según el Sistema Internacional

Sistema Internacional (SI)			
Diámetro menor a 2 micras=	44		%
Diámetro menor a 20 micras=	70,5		%
% Arcillas =	44		%
%limos =	26,5	(70,5-44)	%
% Arenas=	29,5	(100-44-26,5)	%
Total=	100	ok	
Textura=	Arcilloso		

Método de Bouyoucos, densímetros de sedimentación continua. Modificado por Frómeta (Tomado de (Hernández, 2007))

Este método también utiliza agentes químicos como dispersantes, y no utiliza calor. Se basa en el mismo principio de la ley de Stokes, en cuanto a la velocidad de caída de las partículas en un líquido, utilizando la sedimentación continua de estas y el densímetro de Bouyoucos, para determinar los diferentes porcentajes de las fracciones contenidas en el suelo.

Procedimiento

1. **Pesar 50 g de muestra pasada por tamiz de 2 mm**, en balanza técnica, la pasamos a un beaker de 400 mL o frasco comercial de 8 onzas (boca ancha), y se añaden 50 mL de la solución dispersante de $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O} + \text{NaOH}$.
2. Se deja en reposo durante 24 h.
3. Se le añade H_2O destilada, hasta unos 200-250 mL y se agita en agitador eléctrico de

CC BY-NC-ND 4.0

paletas durante 1,0 horas.

4. Después la dispersión contenida en el beaker o frasco se transfiere completamente a una probeta, utilizando un frasco lavador con H₂O destilada, **se introduce el hidrómetro en la probeta y continuamos añadiendo H₂O destilada hasta la marca de 1130 mL, cuando se utilizan 50 g de suelo.** De no contar con la probeta requerida para este método, se puede utilizar una probeta común de 1000 mL en la que podemos marcar con un cristalográfico o plumón, el volumen correspondiente a 1130 mL y luego procedemos de la misma forma que explicamos anteriormente.

5. En el método original solo se pueden determinar tres fracciones, arena, limo, arcilla. En este se pueden determinar cinco fracciones que, atendiendo al sistema internacional, tienen las siguientes medidas: arena gruesa (2-0.2 mm), arena fina (0.2-0.02 mm) limo grueso (0.02-0.01 mm), limo fino (0.01-0.002 mm) y arcilla <0.002 mm.

Para poder determinar estas fracciones, este método toma como fundamento la ley de Stokes. Bouyoucos estableció este método, en el cual están prefijadas todas las condiciones de la fórmula, incluyendo además el tiempo que tardan las partículas en recorrer una distancia también prefijada.

6. Al igual que sucede en el método de la pipeta, las partículas en suspensión en un líquido en reposo, se depositan a una velocidad dada (V), en dependencia de:

$$V = \frac{2}{9} g * r^2 * \frac{ds-da}{U}$$

Donde:

g → fuerza de la gravedad de un cuerpo que cae libremente

r → radio de las partículas que caen

da → densidad del líquido en el cual se realiza el análisis

ds → densidad de la partícula que cae

U → Viscosidad del líquido

Después de llevar la dispersión al volumen requerido, se saca el hidrómetro de la probeta.

7. Se tapa cuidadosamente con la palma de la mano y debe agitarse fuertemente invirtiéndola varias veces (3 - 4), colocándola enseguida sobre la mesa, para medir el tiempo.

8. *La primera lectura del hidrómetro se hace a los 40 segundos después de terminada la agitación, para lo cual debe introducirse unos diez segundos antes, a fin de que quede quieto y equilibrado al vencer los 40 segundos, tomando la lectura por encima del menisco, y también*

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarriavae@gmail.com

la temperatura inicial de la dispersión. Si el humus forma una nata que impide la lectura o existe espuma, se puede poner una gota de alcohol amílico para separarlas.

9. Después se realizan varias lecturas más, a los 4, 16 y 120 minutos (2,0 horas).

10. Se saca el hidrómetro. Sin perturbar el contenido de la probeta y esperar dos horas exactas para efectuar la última lectura, siempre los tiempos se toman desde la primera vez que dejó de agitarse la probeta, también se vuelve a tomar la temperatura final de la dispersión en esta última lectura del hidrómetro.

11. Efectuar los cálculos correspondientes e informar el porcentaje de cada una de las fracciones.

12. Se recomienda como guía utilizar las ecuaciones de cálculo como se muestran a continuación

Fracción que se determina		Tiempo de lectura	Ecuación a utilizar	Fracción a determinar
Arena gresa	Ag	40 seg	$100-(Af+Lg+Lf+Arc)$	$(Af+Lg+Lf+Arc)$
Arena fina	Af	4 min	$(Af+Lg+Lf+Arc)-Lect\ 4min$	$(Lg+Lf+Arc)$
Limo grueso	Lg	16 min	$(Lg+Lf+Arc)-Lect\ 16min$	$(Lf+Arc)$
Limo fino	Lf	por diferencia	$Lf-(Arc=Lect\ 120min)$	
Arcilla	Arc	120 min	$Lect\ 120min$	(Lf)

Figura 33: Forma de cálculo de la metodología Método de Bouyoucos modificado por Frómota

Ejemplo de cálculo de esta metodología. Se consiguieron las siguiente medidas de laboratorio:

Tiempo de lectura	Lectura con el hidrómetro g/L	Temperatura en la lectura °C
40 seg	40	28
4 min	38	28
16 min	34	28
120 min	25	27

Cálculos

Corrección en la lectura del hidrómetro:

La escala del hidrómetro está calculada para una temperatura de 19.4°C. Cuando la lectura

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

se realiza a otra temperatura, hay que hacerle una corrección. **Por cada grado centígrado de diferencia corresponde una corrección de 0.36 en la lectura observada.** Es importante observar que el hidrómetro mide densidad del medio y como se sabe la densidad varía con la temperatura. Por tal motivo será necesario determinar la temperatura a que se hacen las lecturas correspondientes, para más tarde hacer las correcciones adecuadas.

Ejemplo:

Para los 50 g de suelo

La 1ra lectura = 40 segundos para estimar arena gruesa

Lectura del hidrómetro = 40

La temperatura de la dispersión = 28°C

Factor de corrección 0,36

Se multiplica por 2 para llevar a 100 g que representa el 100%

$$[(28 - 19,4) * 0,36 + 40] * 2 =$$

$$[(8,6 * 0,36) + 40] * 2 =$$

$$[3,1 + 40] * 2 =$$

$$43,1 * 2 = 86,2 \% \text{ es la cantidad de sólidos en suspensión.}$$

Como se sabe con la ley de Stokes, las primeras que sedimentan a los 40 segundos, son las partículas de arena gruesa la cual se calcula de la siguiente manera:.

$$A_g = 100 - (A_f + L_g + L_f + A_{rc})$$

$$A_g = 100 - \text{Lect } 40 \text{ segundos}$$

$$A_g = 100 - 86,2 \%$$

$$A_g = 13,8\% \text{ (es el porcentaje de arena gruesa)}$$

Estas fracciones se van calculando de la misma forma, teniendo en cuenta que el hidrómetro está influido o mide las partículas que están en suspensión.

Al valor total que queda del cálculo anterior, se le va restando el valor total calculado en la próxima lectura y así sucesivamente, y se va obteniendo el porcentaje de la fracción que sedimentó. El último valor total obtenido corresponde al porcentaje de la fracción arcilla.

En la segunda lectura: 4 minutos para estimar arena fina.

$$A_f = (A_f + L_g + L_f + A_{rc}) - \text{Lect } 4 \text{ min}$$

El hidrómetro indica una lectura de 38, la temperatura de la dispersión 28°C

Factor de corrección 0,36

Se multiplica por 2 para llevar a 100 g que representa el 100%

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

$$\begin{aligned}
 & [(28-19,4) * 0,36 + 38] \times 2 = \\
 & [(8,6 * 0,36) + 38] \times 2 = \\
 & [3,1+38] \times 2 = \\
 & 41,1 \times 2 = 82,2
 \end{aligned}$$

Af = 86,2 - 82,2 = 4,0% (se hace la diferencia entre la primera lectura que corresponde a la cantidad de sólidos en suspensión a los 40 segundos y la segunda lectura perteneciente a la cantidad de sólidos en suspensión a los 4 minutos)

Af = 4,0 % (corresponde al porcentaje de arena fina)

En la tercera lectura: 16 minutos para estimar limo grueso.

$$Lg = (Lg+Lf+Arc) - \text{Lect 16 min}$$

El hidrómetro me indica una lectura de 34 y la temperatura de la dispersión 28°C

Factor de corrección 0,36

Se multiplica por 2 para llevar a 100 g que representa el 100%

$$\begin{aligned}
 & [(28-19,4) * 0,36 + 34] \times 2 = \\
 & [(8,6 * 0,36) + 34] \times 2 = \\
 & [3,1+34] \times 2 = \\
 & 37,1 \times 2 = 74,2
 \end{aligned}$$

Lg = 82,2 - 74,2 = 8,0% (la diferencia entre la lectura de los 4 minutos y los 16 minutos correspondientes a las lecturas de sólidos en suspensión)

Lg = 8,0 % (corresponde al porcentaje de limos gruesos)

En la cuarta lectura: 120 minutos (2,0 horas) para estimar la arcilla.

El hidrómetro me indica una lectura de 25 y la temperatura de la dispersión 27°C

Factor de corrección 0,36

Se multiplica por 2 para llevar a 100 g que representa el 100%

$$\begin{aligned}
 & [(27-19,4) * 0,36 + 25] \times 2 = \\
 & [(7,6 * 0,36) + 25] \times 2 = \\
 & [2,74+25] \times 2 = \\
 & 27,7 \times 2 = 55,4
 \end{aligned}$$

Arc = 55,4 % (corresponde al porcentaje de arcillas que son los sólidos en suspensión que es la lectura directa a los 120 minutos)

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarriavae@gmail.com

Cálculo del limo fino

$L_f = L_f - (\text{Arc} = \text{Lect } 120\text{min})$

$L_f = 74,2 - 55,4$

$L_f = 18,8 \%$ (corresponde al porcentaje de limos finos que corresponde a la diferencia entre la lectura de sólidos en suspensión a los 16 minutos y la lectura a los 120 minutos)

EL resultado total de las fracciones:

$A_g = 13,8 \%$

$A_f = 4,0 \%$

$L_g = 8,0 \%$

$L_f = 18,8 \%$

$A_{rc} = 55,4 \%$

TOTAL = 100 %

En el caso que se quieran expresar los resultados solamente en las fracciones arena, limo y arcilla, se suman las dos fracciones de arena y las dos del limo, expresándolos en la forma deseada. En ese caso el resultado final es el siguiente:

Arena = 17,8 %

Limos = 26,8 %

Arcillas = 55,4 %

Clase textural del suelo:

El nombre textural de la muestra de suelo es "Arcilloso"

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

Cuadro 39: Valores de la densidad de a disolución de suelo expresada en el densímetro llevados al hidrómetro de Bouyoucos

Lectura en grados Brix	Lectura en el hidrómetro de Bouyoucos	Lectura en grados Brix	Lectura en el hidrómetro de Bouyoucos	Lectura en grados Brix	Lectura en el hidrómetro de Bouyoucos	Lectura en grados Brix	Lectura en el hidrómetro de Bouyoucos
1	1	21	13	41	26	61	39
2	1	22	14	42	27	62	40
3	2	23	15	43	28	63	40
4	2	24	15	44	28	64	41
5	3	25	16	45	29	65	42
6	4	26	17	46	30	66	42
7	4	27	17	47	30	67	43
8	5	28	18	48	31	68	44
9	6	29	19	49	31	69	44
10	6	30	19	50	32	70	45
11	7	31	20	51	33	71	46
12	7	32	21	52	33	72	46
13	8	33	21	53	34	73	47
14	9	34	22	54	35	74	48
15	10	35	22	55	35	75	48
16	10	36	23	56	36	76	49
17	11	37	24	57	36	77	49
18	11	38	24	58	37	78	50
19	12	39	25	59	38	79	51
20	13	40	26	60	39	80	51

Esta tabla fue confeccionada a partir de 25 valores de lecturas del densímetro de grados Brix (escala 0-10) correlacionados con valores del hidrómetro de Bouyoucos, recomendándose la ecuación de regresión siguiente:
 Hidrómetro de Bouyoucos = $-0.0236 + 0.643 * (\text{lectura en grados Brix})$, con coeficiente de determinación ($R^2 = 99.97\%$) y una significación $P < 0.001$. Por lo que es totalmente confiable el uso del densímetro de grados Brix (escala 0-10) para ese tipo de determinación.

CC BY-NC-ND 4.0

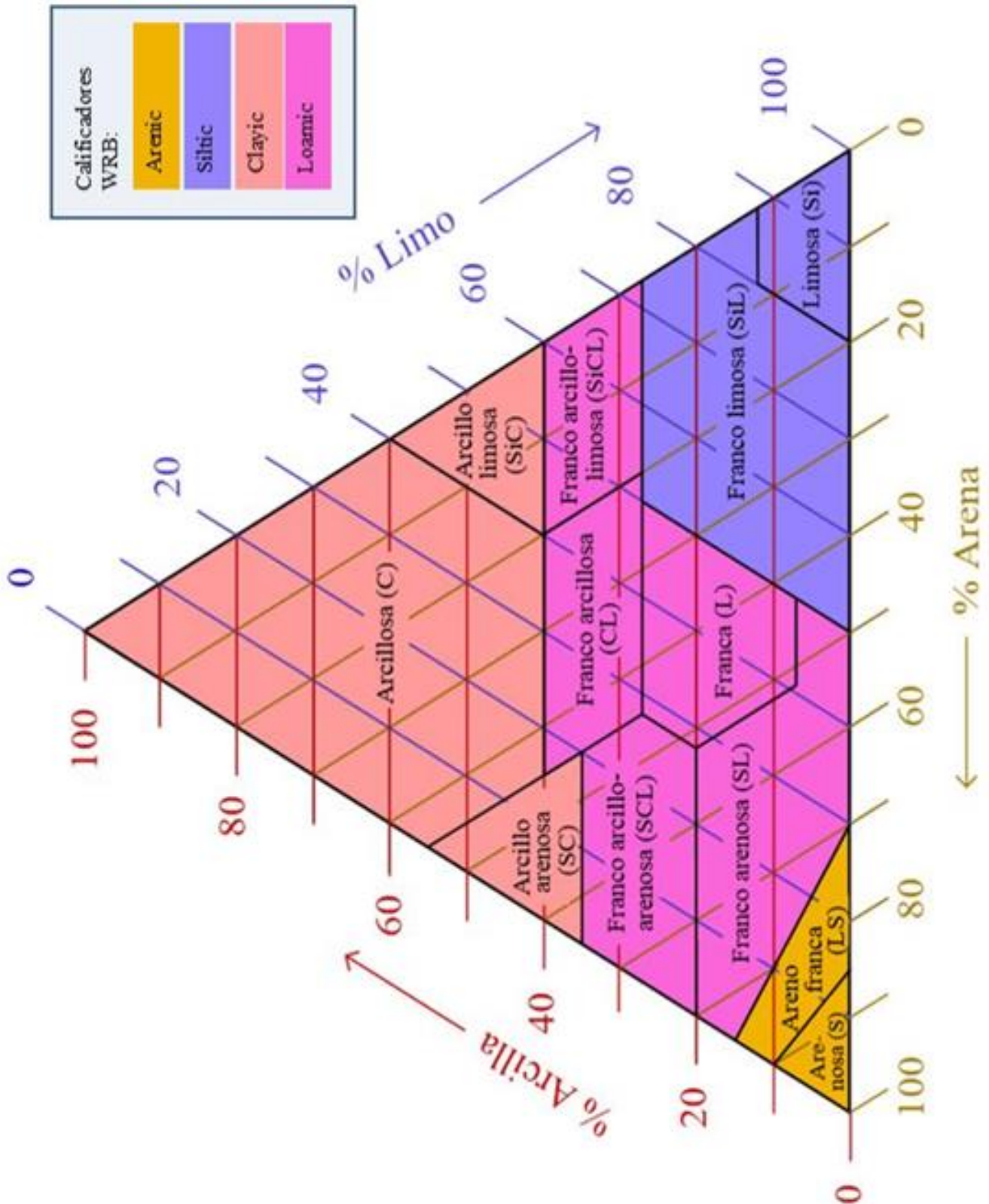


Figura 34: Triángulo textural según WRB.
Tomado de: (Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB), 2022)

CC BY-NC-ND 4.0

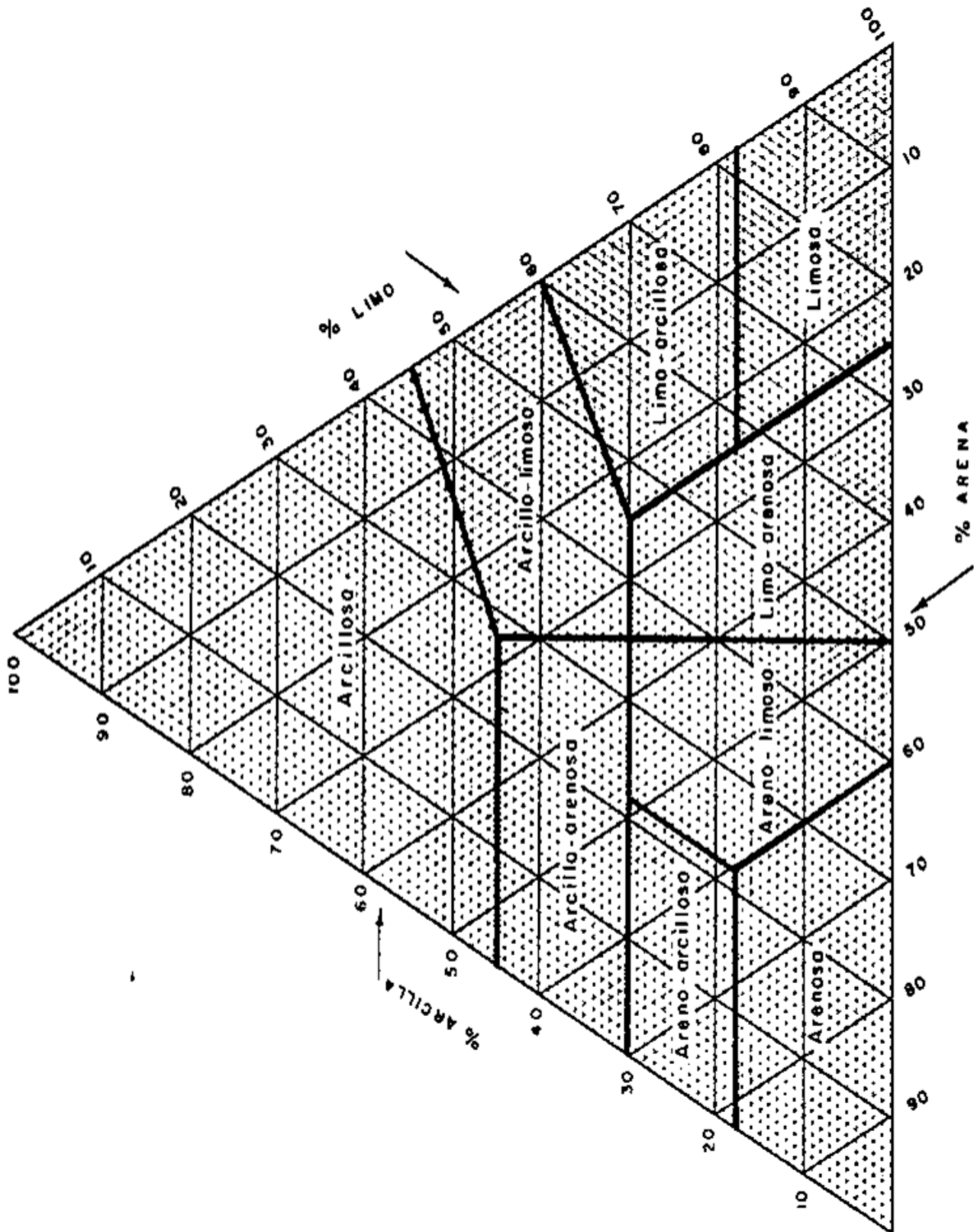


Figura 35: Triángulo de clases texturales dado por la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo (ISSS, 1963).

CC BY-NC-ND 4.0

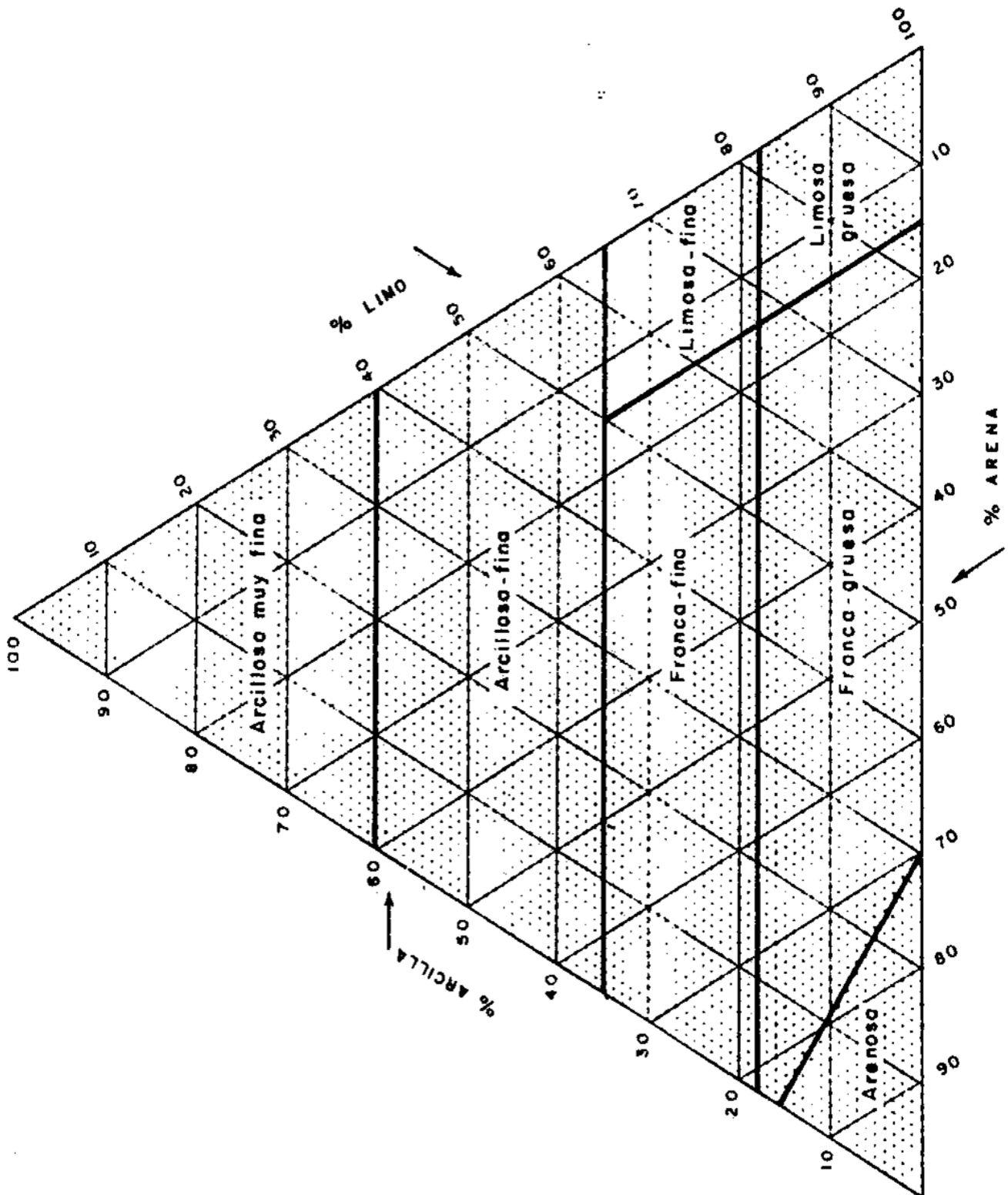


Figura 36: Triángulo de clases texturales dado por la USDA (USDA, 1975).

Tomado de: (25Ju1)

CC BY-NC-ND 4.0

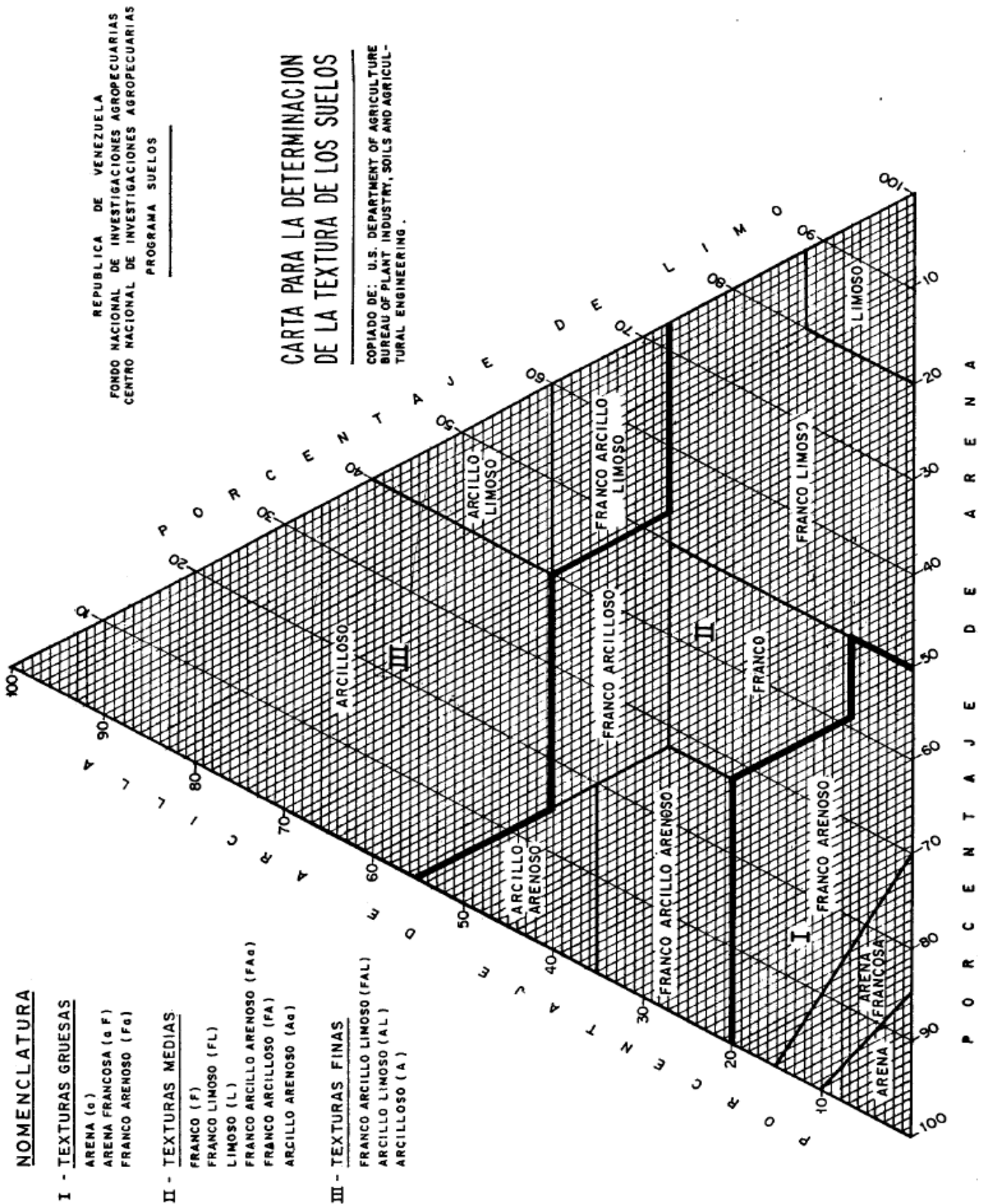


Figura 37: Triángulo de clases texturales reducido a tre texturas
 Tomado de: (Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias)

CC BY-NC-ND 4.0

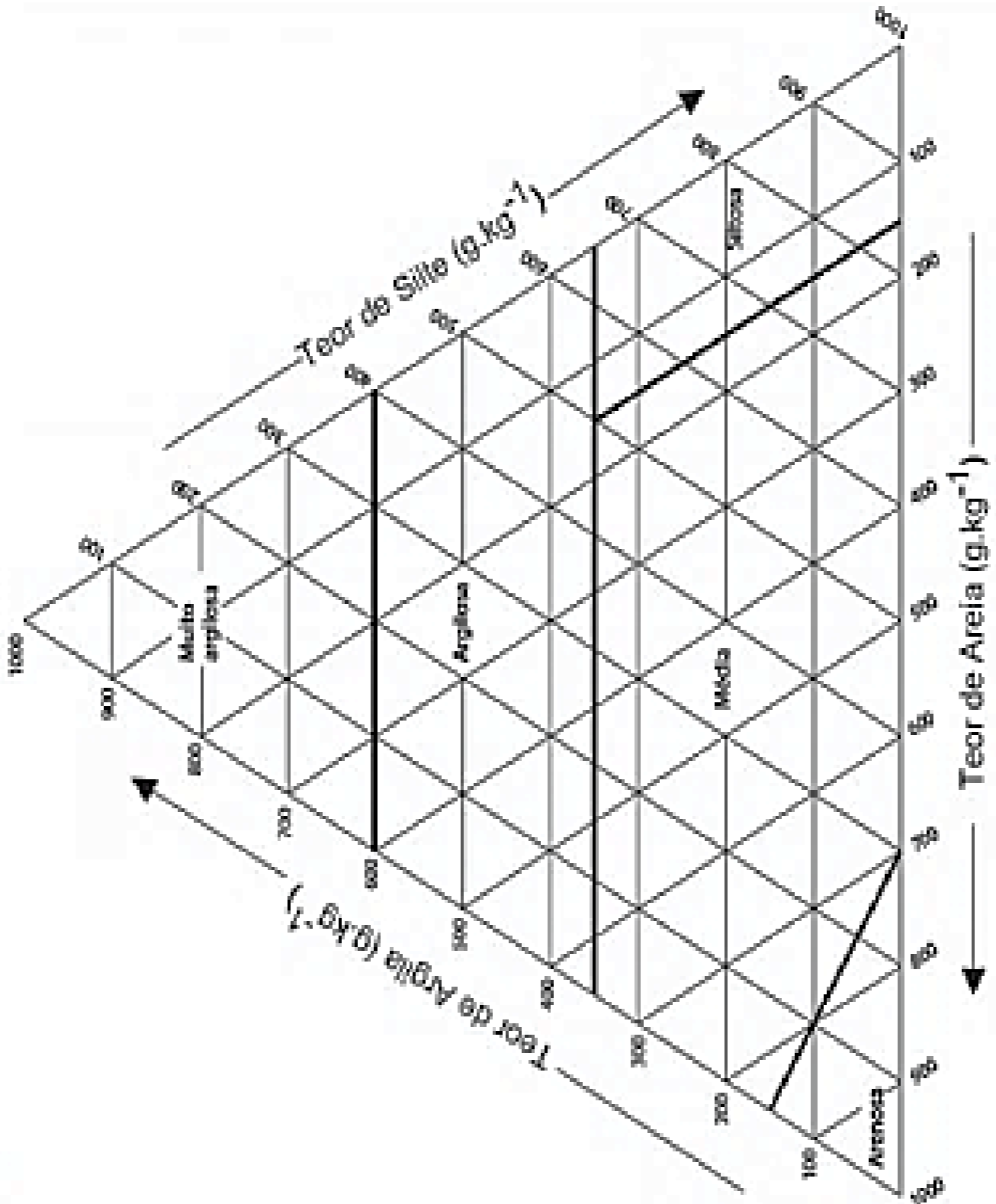


Figura 38: Triángulo de textura brasileño (Rodríguez, J, 2011).

Tomado de: (TECNAL)

CC BY-NC-ND 4.0

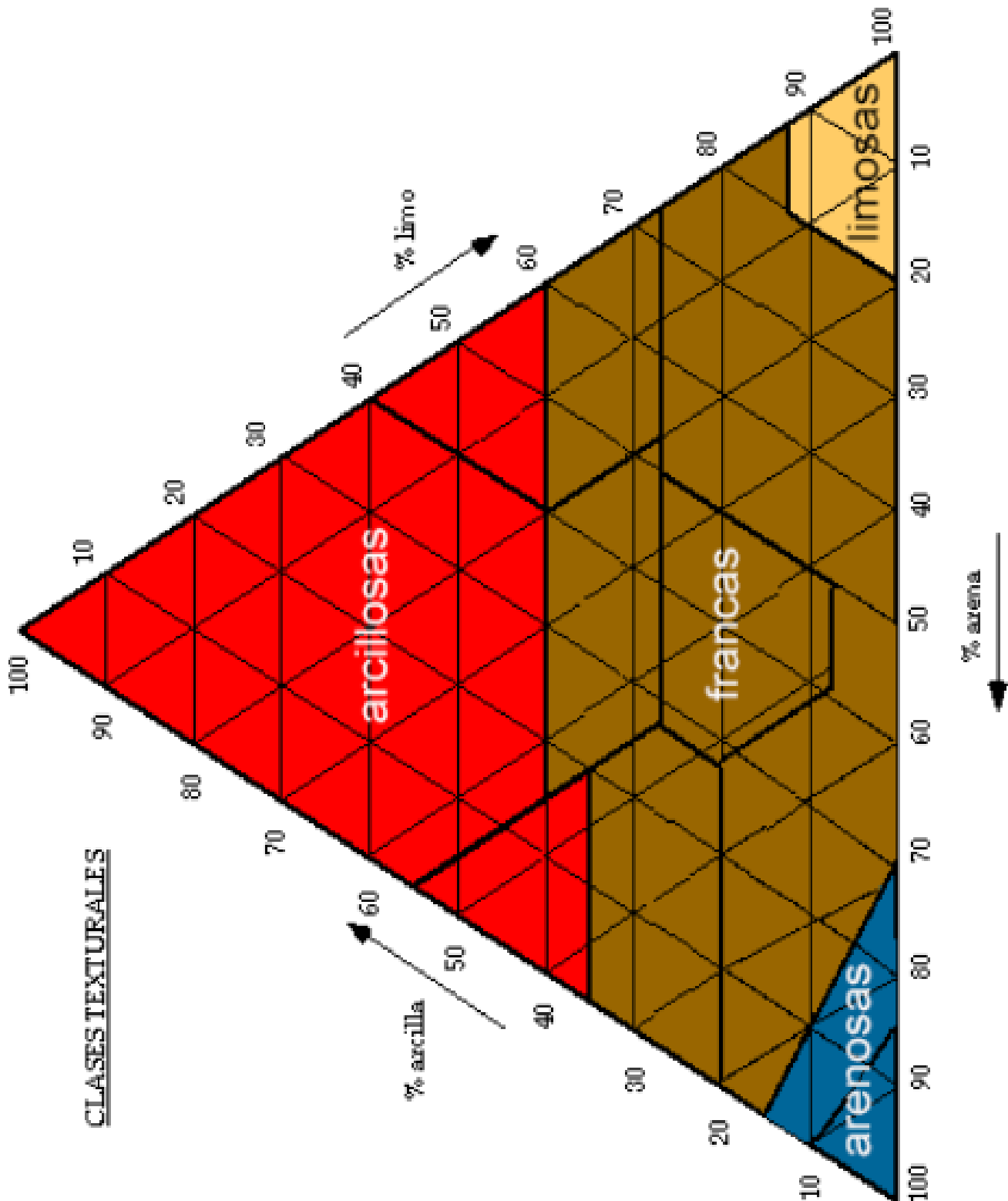


Figura 39: Triángulo de textura reducido en cuatro grupos (Rodríguez, J, 2011).

Tomado de: (Lección 4. PROPIEDADES FÍSICAS)

CC BY-NC-ND 4.0

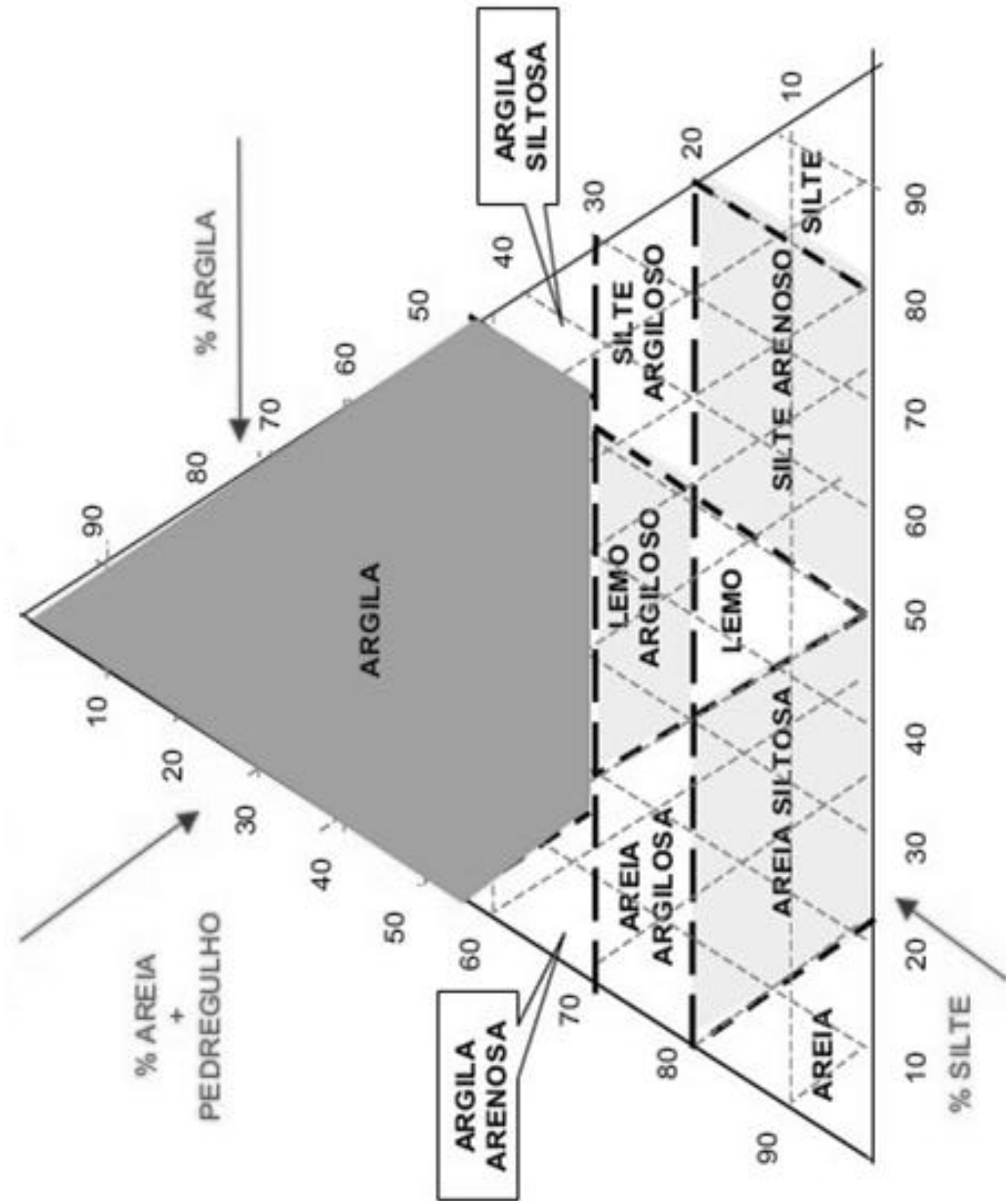


Figura 40: Triángulo de clasificación textural (Wendland, E, 2004).

Tomado de: (Arquitectos Sen Froiteiras)

CC BY-NC-ND 4.0

Triángulo de clasificación de suelos según textura de acuerdo con el sistema internacional.

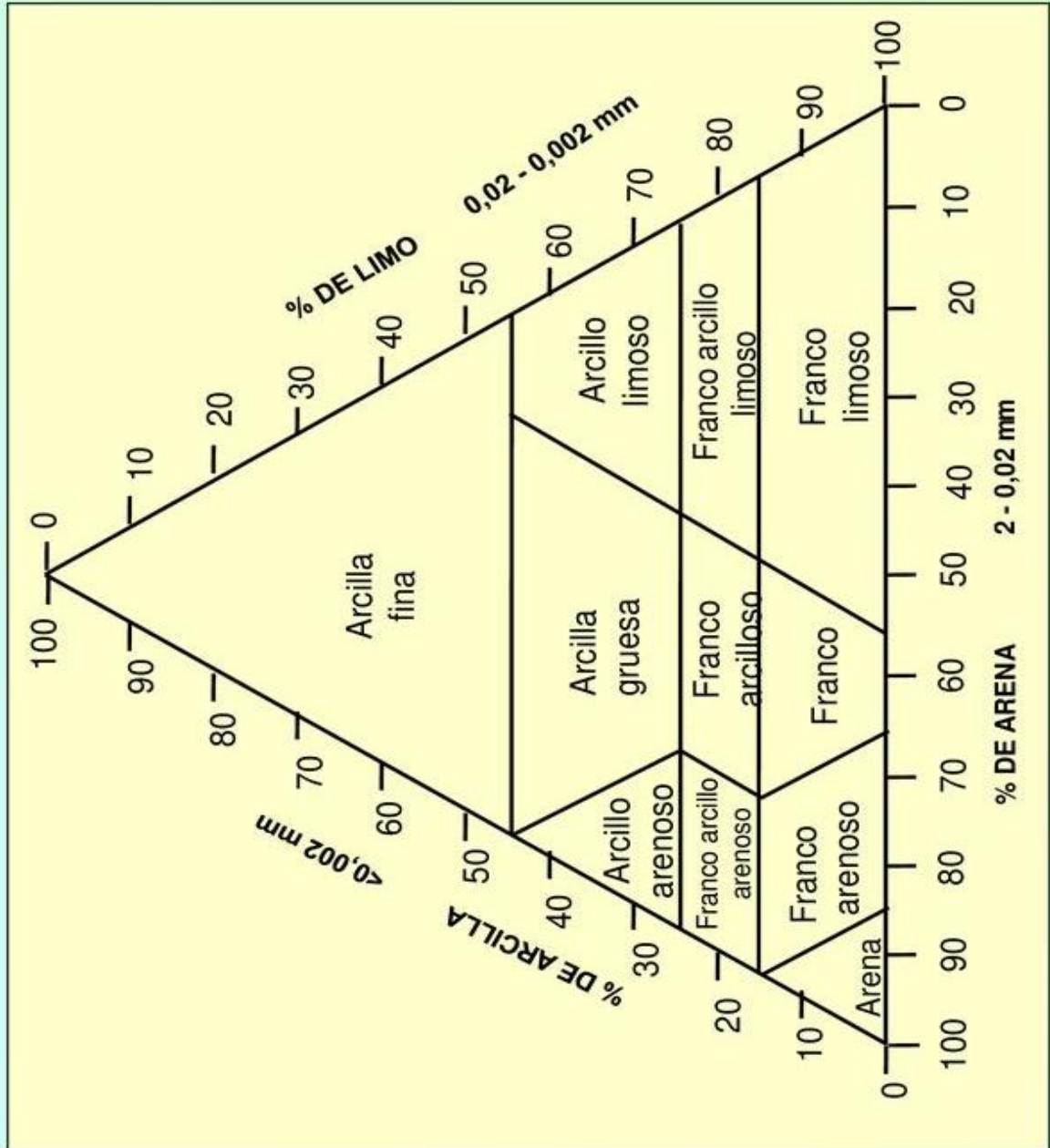


Figura 41: Triángulo textural de acuerdo a composición granulométrica

Tomado de: (25Ju2)

CC BY-NC-ND 4.0

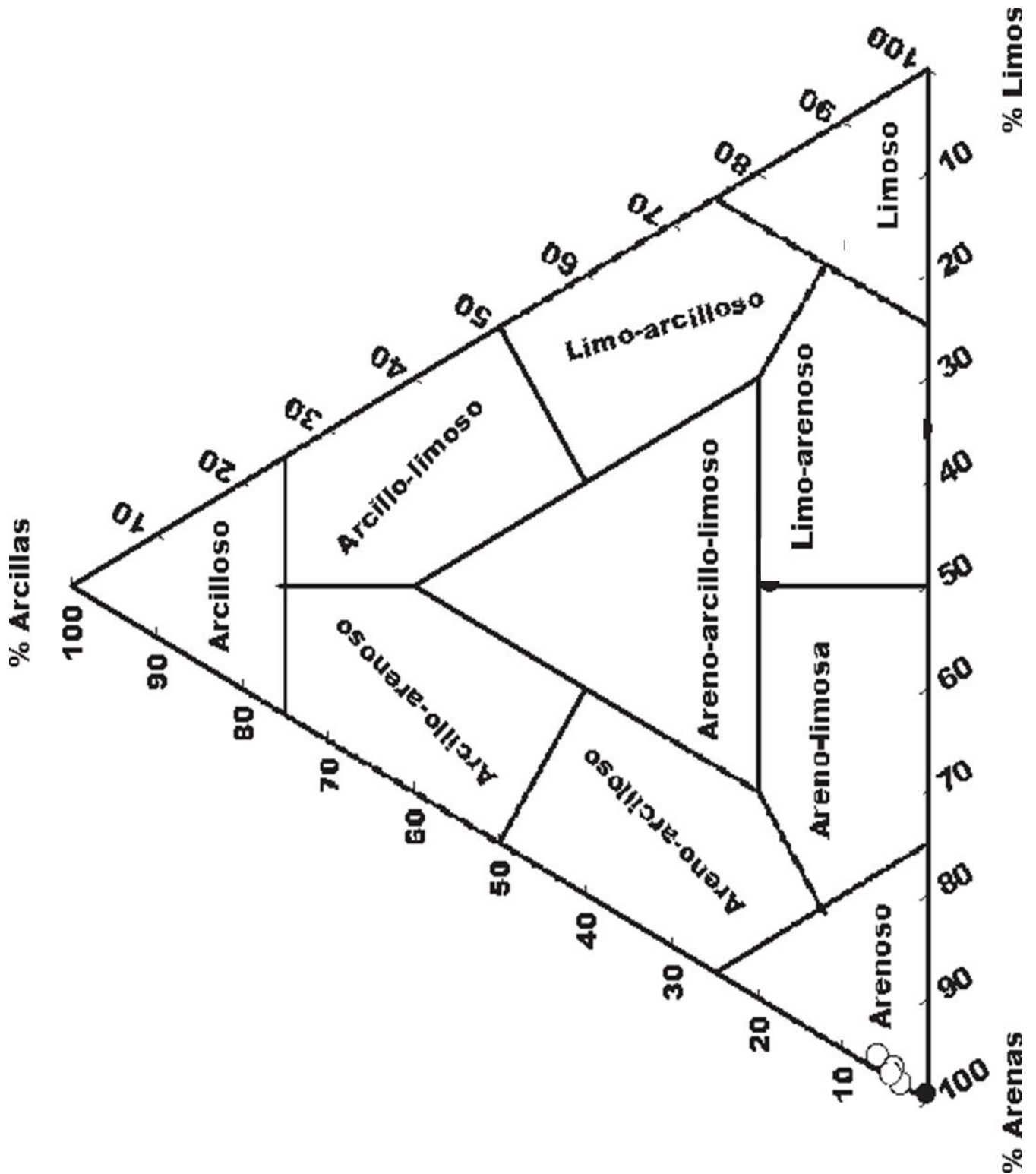


Figura 43: Triángulo para clasificación de textura solamente con los nombres de las arenas, limos y arcillas

Tomado de: (25Ju3)

CC BY-NC-ND 4.0

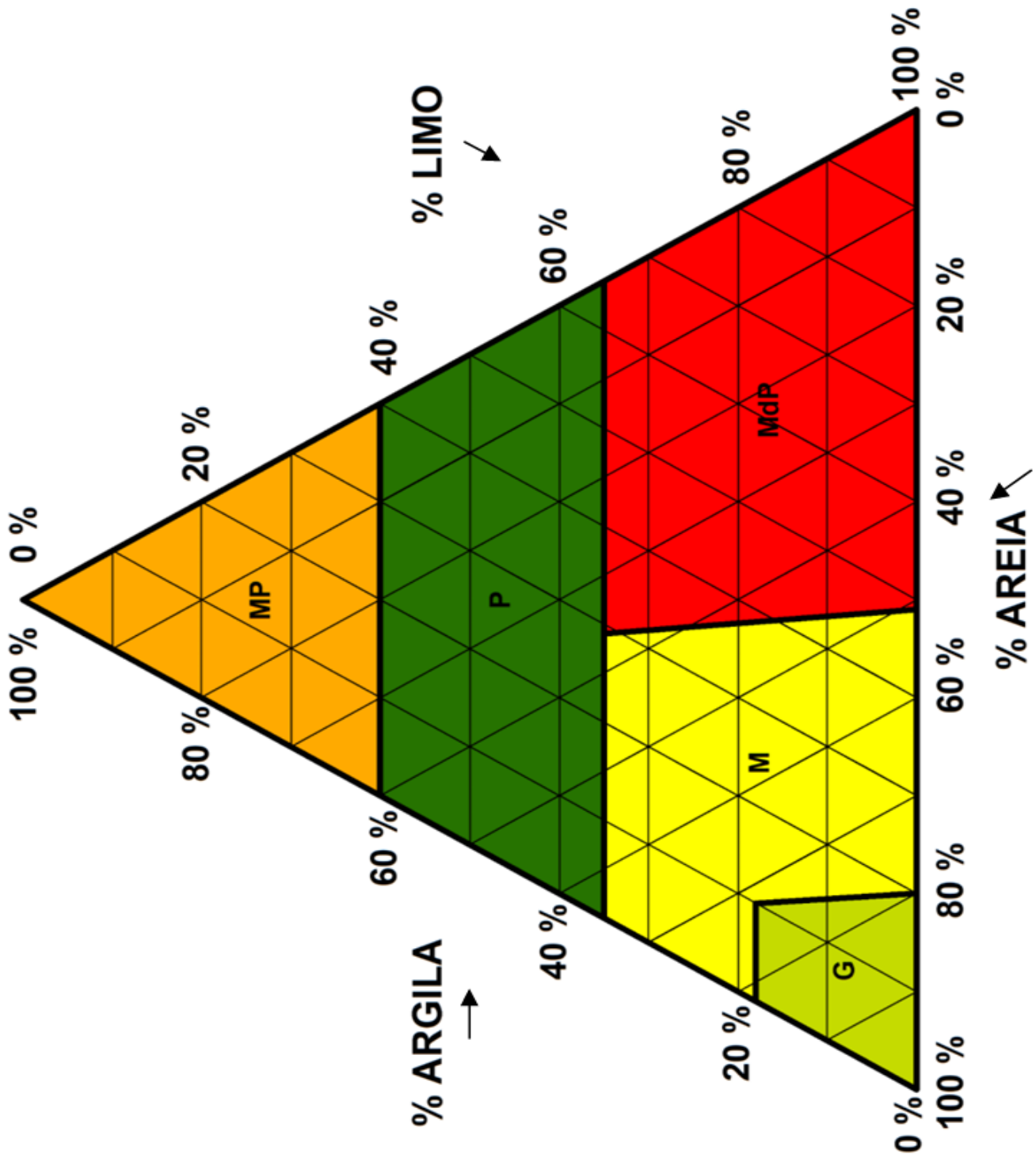


Figura 44:: Triángulo para clasificación de textura en muy pesada (MP), pesada (P), medianamente pesada (MdP), mediana (M) y gruesa (G) según Gómez y Siva utilizado en Portugal

Tomado de: (BRITO RAMOS , CONCEIÇÃO GONÇALVES , CASIMIRO MARTINS , & SANTOS PEREIRA, 2016)

CC BY-NC-ND 4.0

El método básico, también conocido como “Método de Bouyoucos”

Tomado de: Fundamentos y procedimientos para análisis físico morfológicos de suelos.

Es aplicable en suelos no calcáreos, no salinos y con contenidos bajos de materia orgánica (M.O < 5%, ausencia de carbonatos, y CE 1:5 < 2 dS m⁻¹).

Si los resultados de la muestra de suelo por analizar indican: materia orgánica <5%, ausencia de carbonatos, y conductividad eléctrica (CE 1:5) < ds m⁻¹, continuar como sigue:

1. Se pesan entre 50 y 100 g de suelo seco y tamizado a 2 mm
2. Colocar la muestra pesada en un vaso de vidrio de 400-600 mL y agregar agua hasta la mitad de su capacidad
3. Adicionar 10 ml de oxalato de sodio saturado, luego agitar con la varilla de vidrio. Dejar reposar durante 24 horas
4. Transferir toda la muestra al vaso del agitador y agitar durante 2 - 5 min. El tiempo de agitación depende del tipo de muestra, siendo un máximo para suelos con presunción de presencia elevada de arcillas
5. Concluida la agitación, pasar la suspensión en su totalidad al cilindro de sedimentación, empleando una piceta para remover todas las partículas
6. Agregar agua hasta la línea de aforo: 1130 ml si se emplean 50 g de suelo ó 1205 ml si se utilizan 100 g.
7. Agitar el cilindro, hasta conseguir la remoción de todo el suelo sedimentado en el fondo
8. Colocar el cilindro sobre la mesa e introducir lentamente el hidrómetro en la suspensión. Se agregan unas gotas de alcohol amílico si hay formación de espuma. De la misma manera se debe poner un “blanco” que consiste en un cilindro del mismo tipo realizado donde se colocó la muestra, con el mismo aforo y con la misma cantidad de oxalato de sodio saturado (10 ml) pero sin muestra de suelo
9. Hacer la primera lectura del hidrómetro a los 40 segundos de iniciada la sedimentación, luego se mide con el termómetro la temperatura de suspensión. Se hace exactamente lo mismo sobre el cilindro llamado el “blanco”
10. Efectuar una segunda lectura de la densidad marcada por el hidrómetro a las 7 horas de iniciada la sedimentación, registrando también la temperatura. Se hace exactamente lo mismo sobre el cilindro llamado el “blanco”

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

Cálculos:

Calcular el contenido de limo + arcilla en suspensión, en %, según:

$$(\text{limo} + \text{arcilla})\% = \frac{(\text{La}_{40\text{s}} - ((20 - \text{ta}_{40\text{s}}) * 0,35)) - (\text{Lb}_{40\text{s}} - ((20 - \text{tb}_{40\text{s}}) * 0,35))}{m * (1 - 0,01 * \text{MO})} * 100$$

donde:

$\text{La}_{40\text{s}}$ = lectura en g L^{-1} de muestra a los 40 s.

$\text{Lb}_{40\text{s}}$ = lectura en g L^{-1} del blanco a los 40 s.

$\text{ta}_{40\text{s}}$ = temperatura en $^{\circ}\text{C}$ de la muestra a los 40 s.

$\text{tb}_{40\text{s}}$ = temperatura en $^{\circ}\text{C}$ del blanco a los 40s.

0,35 = factor de corrección por temperatura.

m = masa en g de muestra

$M.O$ = materia orgánica

Calcular el contenido de arcilla, en suspensión en %, según:

$$(\text{arcilla})\% = \frac{(\text{La}_{7\text{h}} - ((20 - \text{ta}_{7\text{h}}) * 0,35)) - (\text{Lb}_{7\text{h}} - ((20 - \text{tb}_{7\text{h}}) * 0,35))}{m * (1 - 0,01 * \text{MO})} * 100$$

donde:

$\text{La}_{7\text{h}}$ = lectura en g L^{-1} de muestra a las 7h.

$\text{Lb}_{7\text{h}}$ = lectura en g L^{-1} del blanco a las 7h.

$\text{ta}_{7\text{h}}$ = temperatura en $^{\circ}\text{C}$ de la muestra a las 7 h.

$\text{tb}_{7\text{h}}$ = temperatura en $^{\circ}\text{C}$ del blanco a las 7h.

0,35 = factor de corrección por temperatura.

m = masa en g de muestra

$M.O$ = materia orgánica

Calcular el contenido de limo en % según:

$$(\text{limo})\% = (\text{limo} + \text{arcilla}) - (\text{arcilla})$$

donde:

(limo+arcilla) = (limo+arcilla) en suspensión en % calculado

(arcilla) = arcilla en suspensión % calculado

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

Calcular el contenido de arena, en %, según:

$$\%arena = 100 - \%arcilla - \%limo$$

Determinación del tamaño de partículas del suelo por el “Método de Bouyoucos”

Tomado de: Manual de prácticas de campo y de laboratorio de suelos.

La literatura establece que la lectura corregida (L_c) del hidrómetro viene dada por la ecuación: $L_c = L_{exp.} \pm 0,36 \times (T_{cal.} - T_{exp})$, donde $L_{exp.}$ y T_{exp} se corresponde con la lectura y temperatura experimental, respectivamente, y $T_{cal.}$ a la temperatura de calibración = 19,6°C (Opción 1 en los Cálculos). Otra forma de corregir la lectura por solución dispersante de Calgon, es tomar las lecturas de esta solución sin muestra de suelo (L_{blanco}), en cuyo caso se aplica la ecuación: $L_c = L_{exp.} - L_{blanco}$ (Opción 2 en los Cálculos).

1- Opción 1.

Con el uso de la ecuación $L_c = L_{exp.} \pm 0,36 \times (T_{cal.} - T_{exp})$, mediante el procedimiento siguiente:

- Pesar 50,00 ± 0,01 g de suelo, seco al aire y tamizado por 2 mm, y colocar en recipiente de boca ancha, de proximadamente un litro de capacidad.
- Agregar 100 ml de la solución dispersante de Calgon y 200 ml de agua desionizada. Agitar con una varilla para homogeneizar bien y dejar en reposo, durante la noche.
- Al día siguiente, pasar cuantitativamente la suspensión de suelo a la copa de la batidora y agitar durante cinco minutos.
- Trasvasar la suspensión anterior al cilindro de sedimentación de un litro, lavar bien los residuos y llevar a volumen con agua desionizada.
- Homogeneizar la suspensión, mediante el uso del pistón de bronce tapar el cilindro con tapón de goma y agitar hacia arriba y hacia abajo, de 15 a 20 veces, invirtiendo el cilindro, con el fin de separar cualquier partícula de suelo que se haya sedimentado en el fondo del cilindro.
- Colocar el cilindro en el mesón e inmediatamente después empezar a medir el tiempo de sedimentación, poniendo en marcha el cronómetro, e introducir el hidrómetro en la suspensión de suelo. Si hubiera espuma, se debe poner una gota de alcohol amílico sobre la superficie de la suspensión.
- Tomar nota de la lectura en el menisco superior del hidrómetro, a los 40 segundos (L_m 40 seg).
- Sacar el hidrómetro cuidadosamente, enjuagar y colocar en una probeta con agua desionizada. Tomar inmediatamente la temperatura (T_{exp} 40seg).

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarriavae@gmail.com

- A las cinco horas, después de la primera lectura en la suspensión de suelo, introducir nuevamente el hidrómetro en ella y realizar la lectura en el tope del menisco. Anotar la lectura (Lm 5h) y medir la temperatura inmediatamente, correspondiente a este tiempo (Texp. 5h).
- Cálculos:

Opción 1. $L_c = L_{exp.} \pm 0,36 \times (T_{cal.} - T_{exp.})$

$$\% (a + A + L) = 100\%$$

$$\% (A + L) = \frac{[L_{exp.} 40seg \pm 0,36 \times (T_{20^\circ C} - T_{exp.} 40seg)] \times 100}{P_m}$$

$$\% A = \frac{[L_{exp.} 5h \pm 0,36 \times (T_{20^\circ C} - T_{exp.} 5h)] \times 100}{P_m}$$

$$\% a = 100 - \% (A + L)$$

$$\% L = 100 - \% (a + A)$$

donde:

% a = Porcentaje de arena

% A = Porcentaje de arcilla

% L = Porcentaje de limo.

Lexp 40seg = Lectura de la muestra a los 40 segundos

Lexp 5h = Lectura de la muestra a las cinco horas

Texp 40seg = Temperatura de la suspensión de suelo a los 40 segundos

Texp 5h = Temperatura de la suspensión de suelo a las cinco horas

Pm = peso de la muestra (g)

2- Opción 2.

Con el uso de la ecuación $L_c = L_{exp.} - L_{blanco}$, siguiendo el procedimiento siguiente:
Para las muestras de suelos se sigue el procedimiento descrito anteriormente, paralelamente se prepara una solución blanco de la manera siguiente:

- Agregar 100 ml de la solución dispersante de Calgon y 200 ml de agua desionizada. Agitar con una varilla para homogeneizar bien y dejar en reposo, durante la noche.

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

- Trasvasar la solución anterior al cilindro de un litro, lavar bien y llevar a volumen con agua desionizada.
- Homogeneizar la solución mediante el uso del pistón de bronce de 15 a 20 veces.
- Colocar el cilindro en el mesón e inmediatamente después empezar a medir el tiempo de sedimentación, poniendo en marcha el cronómetro, e introducir el hidrómetro en la solución. Si hubiera espuma, se debe poner una gota de alcohol amílico sobre la superficie de la solución.
- Tomar nota de la lectura en el menisco superior del hidrómetro, a los 40 segundos (Lblanco 40 seg)
- Sacar el hidrómetro cuidadosamente, enjuagar y colocar en una probeta con agua desionizada. Tomar inmediatamente la temperatura (Tblanco 40 seg).
- A las cinco horas, después de la primera lectura en la solución, introducir nuevamente el hidrómetro en ella y realizar la lectura en el tope del menisco. Anotar la lectura (Lblanco 5h) y medir la temperatura inmediatamente, correspondiente a este tiempo (Tblanco 5h).
- Sí la temperatura de la muestra de suelo es diferente a la temperatura del blanco, durante el análisis, se debe leer con el hidrómetro nuevamente la solución blanco a esta temperatura (Tblanco 5h).

Observaciones al método:

- Con el fin de homogeneizar la temperatura a que se realizan las lecturas, se recomienda preparar los cilindros el día anterior y llenar con 400 ml de agua desionizada, aproximadamente.
- Los resultados obtenidos son aproximados, particularmente si los suelos son muy calcáreos, yesíferos, salinos o tienen más de 5% de materia orgánica.

CC BY-NC-ND 4.0

Opción 2. $L_c = L_{exp.} - L_{blanco}$

$$\% (a + A + L) = 100\%$$

$$\% (A + L) = \frac{(L_{exp. 40seg} - L_{blanco 40seg}) \times 100}{P_m}$$

$$\% A = \frac{(L_{exp. 5h} - L_{blanco 5h}) \times 100}{P_m}$$

$$\% a = 100 - \% (A + L)$$

$$\% L = 100 - \% (a + A)$$

donde:

$L_{exp 40seg}$ = Lectura de la muestra a los 40 segundos

$L_{blanco 40seg}$ = Lectura del blanco a los 40 segundos

$L_{exp 5h}$ = Lectura de la muestra a las cinco horas

$L_{blanco 5h}$ = Lectura del blanco a las cinco horas

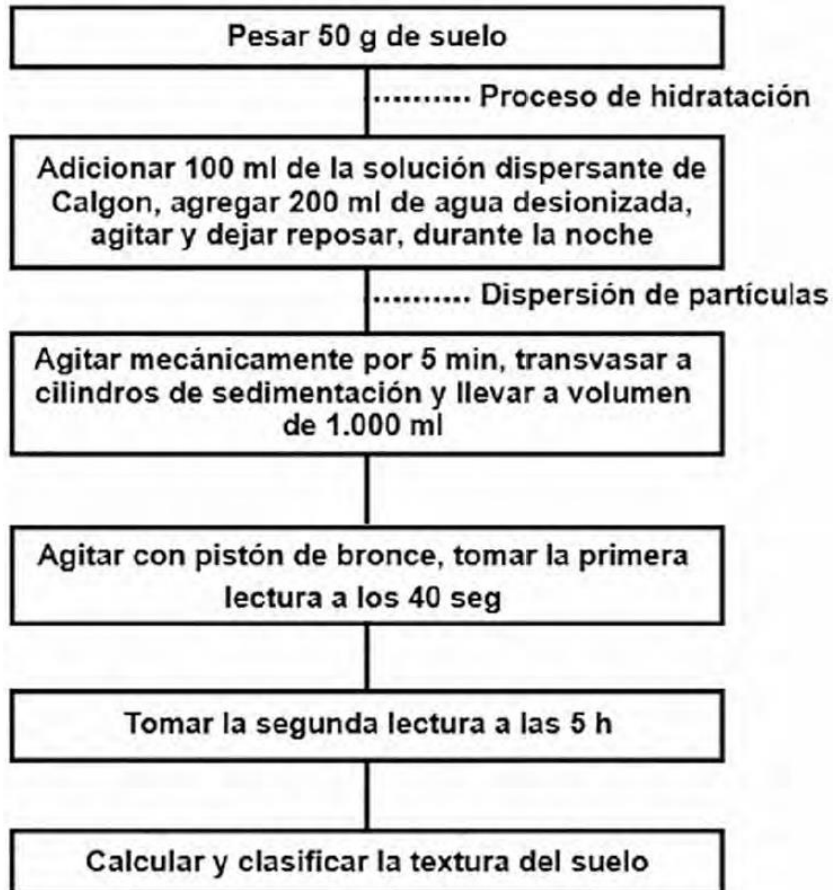
P_m = peso de la muestra (g)

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

Cuadro 40: Resumen de la metodología



CC BY-NC-ND 4.0

4- Granulometría por propiedades cualitativas (el tacto y comportamiento físico de la adhesión y la cohesión)

Métodos de campo para estimación de la textura

Es la determinación textural al tacto.

Las manos humanas son sensibles a la diferencia de tamaños de las partículas del suelo, de manera que estamos en posibilidad de determinar la textura o sentir al tacto la textura del suelo. Así, por ejemplo, sentimos la arena áspera, el limo suave o harinoso o talcoso y la arcilla pegajosa y dura.

Método 1

Materiales

1. Agua
2. Clave textural
3. Suelo

Preparación de la muestra para estimar textura al tacto

1. Coloque una pequeña cantidad de suelo en la palma de la mano.
2. Agregue agua con una pizeta hasta que adquiera consistencia de húmedo (no de mojado).
3. Frote la muestra entre el dedo pulgar e índice.
4. Observe el comportamiento de la muestra y mediante la figuras 45 y 46 determine su textura.

Si la muestra es arenosa, el tacto es áspero y abrasivo, no tiene brillo ni cohesión y no se forman cintas.

Si la muestra es limosa el tacto es suave, se forma una cinta escamosa y no presenta pegajosidad ni plasticidad.

Si la muestra es arcillosa la cinta que se forma tiene cohesión, es brillante, plástica o pegajosa según el contenido de humedad.

Arenosa: es no cohesiva y forma sólo gránulos simples. Las partículas individuales pueden ser vistas y sentidas al tacto fácilmente. Al apretarse en la mano en estado seco se soltará con facilidad una vez que cese la presión. Al apretarse en estado húmedo formará un molde que se desmenuzará al palparlo.

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

Franco arenosa: es un suelo que posee bastante arena pero que cuenta también con limo y arcilla, lo cual le otorga algo más de coherencia entre partículas. Los granos de arena pueden ser vistos a ojo descubierto y sentidos al tacto con facilidad. Al apretarlo en estado seco formará un molde que fácilmente caerá en pedazos, pero al apretarlo en estado húmedo el molde formado persistirá si se manipula cuidadosamente.



Figura 45: Suelo entre los dedos para textura al tacto

Franca: es un suelo que tiene una mezcla relativamente uniforme, en términos cualitativos, de separados texturales. Es blando o friable dando una sensación de aspereza, además es bastante suave y ligeramente plástico. Al apretarlo en estado seco el molde mantendrá su integridad si se manipula cuidadosamente, mientras que en estado húmedo el molde puede ser manejado libremente y no se destrozará.

Franco limosa: es un suelo que posee una cantidad moderada de partículas finas de arena, sólo una cantidad reducida de arcilla y más de la mitad de las partículas pertenecen al tamaño denominado limo. Al estado seco tienen apariencia aterronada, pero los terrones pueden destruirse fácilmente. Al moler el material se siente cierta suavidad y a la vista se aprecia polvoriento. Ya sea seco o húmedo los moldes formados persistirán al manipularlos libremente, pero al apretarlo entre el pulgar y el resto de los dedos no formarán una “cinta” continua.

Franco arcillosa: es un suelo de textura fina que usualmente se quiebra en terrones duros cuando éstos están secos. El suelo en estado húmedo al oprimirse entre el pulgar y el resto de los dedos formará una cinta que se quebrará fácilmente al sostener su propio peso. El suelo

CC BY-NC-ND 4.0

húmedo es plástico y formará un molde que soportará bastante al manipuleo. Cuando se amasa en la mano no se destruye fácilmente sino que tiende a formar una masa compacta. Arcillosa: constituye un suelo de textura fina que usualmente forma terrones duros al estado seco y es muy plástico como también pegajoso al mojarse. Cuando el suelo húmedo es oprimido entre el pulgar y los dedos restantes se forma una cinta larga y flexible.

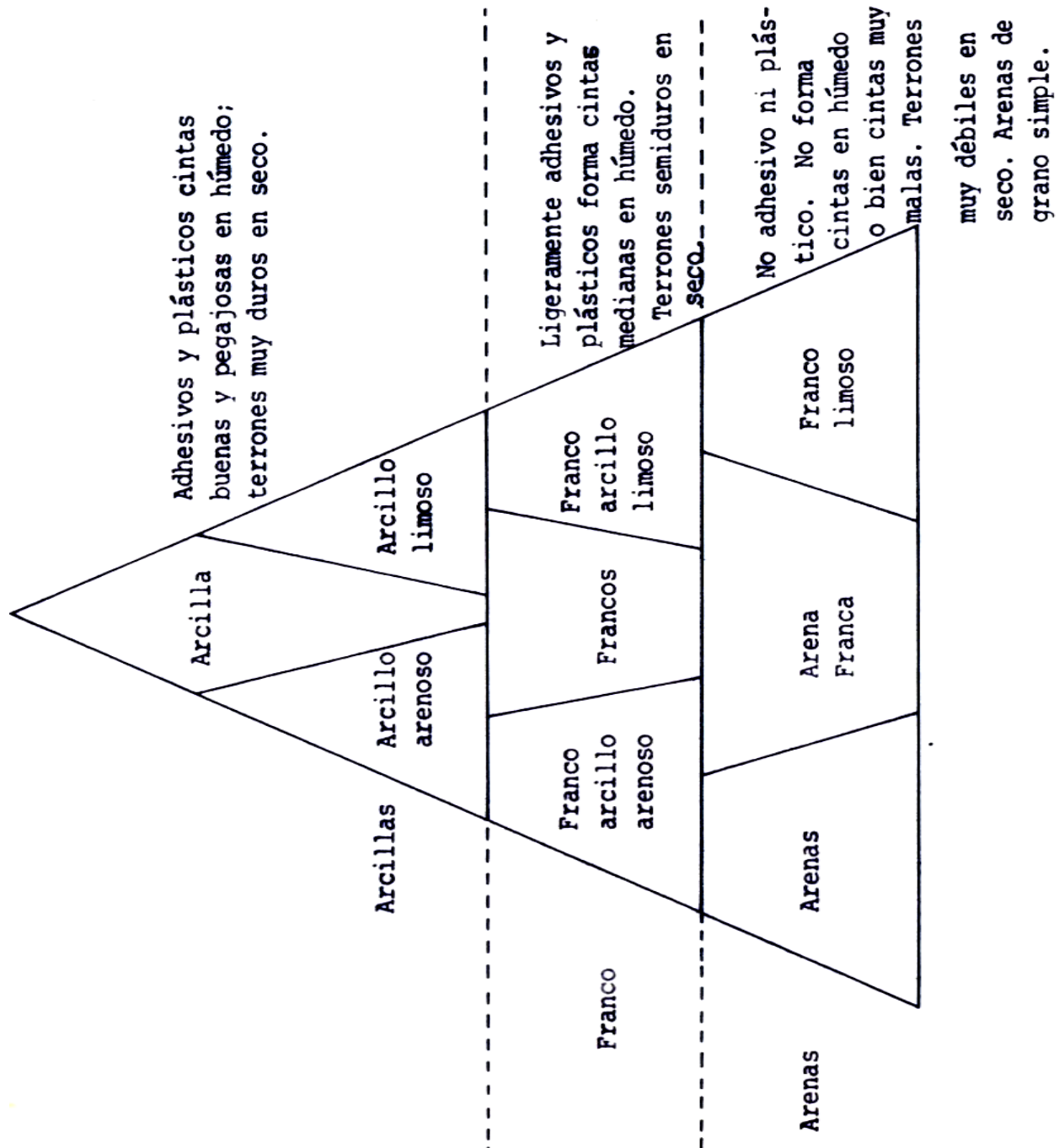


Figura 46: Triangulo textural para estimar textura al tacto
 Tomado de: (CFAPE.COM - EDUCACIÓN SUPERIOR A DISTANCIA , 2010)

CC BY-NC-ND 4.0

Método 2:

Esta metodología fue tomada de (UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA, FACULTAD TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION, DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA)

Siga los pasos que se indican a continuación, hasta llegar a la textura de su suelo:

Paso A

Ponga en la mano una cantidad de suelo que pueda manipular fácilmente (Figura 47)



Figura 47: Cantidad de suelo fácil manipulación

Paso B

Agregue un poco de agua, de tal forma que pueda amasar con facilidad. Evite que se forme un lodo difícil de manipular. Si se excedió en el agua, agregue un poco de suelo y continúe amasando (Figura 48).



Figura 48: Suelo húmedo para amasar

Paso C

Amase bien el suelo hasta que quede una masa completamente homogénea y sin terrones (Figura 49).

Tenga en cuenta que si el suelo tiene terrones no podrá formar rollos ni círculos.

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com



Figura 49: Amasado de la muestra de suelo

Paso 1

Intente formar un cilindro alargado del grosor de un lápiz y trate de doblarlo para formar un círculo, sin que se rompa o se quiebre. (El suelo debe tener muy buena humedad). (Figura 50)



Figura 50: Confección de un cilindro alargado de la muestra de suelo

A. No Moldea (Figura 51) (el cilindro alargado se rompe al formar un círculo o simplemente no forma cilindro alargado). Vaya al Paso 2



Figura 51: Rompimiento del cilindro alargado al formar un círculo

B. Sí Moldea (Figura 52) (el cilindro alargado no se rompe al formar un círculo). Vaya al Paso 3

CC BY-NC-ND 4.0



Figura 52: No rompimiento del cilindro alargado al formar un círculo

Paso 2

Forma bolas poco consistentes y cilindros alargados que se agrietan o parten al formar un círculo o ser dobladas. Vaya al Paso 4

No forma bolas ni cilindros alargados. Vaya al Paso 5

Paso 3

Coja un pedacito de suelo en la mano y agregue agua. Al frotarlo (Figura 53) con el dedo índice en la palma de la mano, usted:

Siente el suelo suave y pantanoso, con algunos granos de arena. Vaya al Paso 13

Siente el suelo áspero y con muchos granos de arena. Vaya al Paso 14

Siente el suelo jabonoso y muy liso, sin granos de arena visibles. Vaya al Paso 15



Figura 53: Suelo húmedo y frotado con el dedo índice contra la palma de la mano

Paso 4

Coja un pedacito de suelo en la mano y agregue agua. Al frotarlo con el dedo índice en la palma de la mano, usted:

Siente el suelo jabonoso y muy liso, sin granos de arena. Vaya al Paso 6

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

Siente el suelo suave y observa algunos granos de arena. Vaya al Paso 7

Siente el suelo áspero y observa muchos granos de arena. Vaya al Paso 10

Paso 5

Y además:

Se nota suelto (Figura 54), sólo se pueden hacer pirámides inestables, no es pegajoso, no mancha los dedos y se nota cada grano de arena.

Arenosos (a)



Figura 54: Suelo arenoso

Paso 6

Y además: Es muy harinoso (talcoso) y suave al amasarlo, fácil de amasar, opaco, mancha los dedos y no es pegajoso,.

Limoso (L)

Si su suelo no coincide con esta descripción, entonces vuelva al Paso 4 e intente de nuevo.

Paso 7

Al frotar la muestra de suelo entre los dedos índice y pulgar como en la figura 55, usted:

Lo siente suave, harinoso, mantequilloso y muy pegajoso. Vaya al Paso 8

Lo siente blando, aunque observa y siente granos de arena. Vaya al Paso 9

CC BY-NC-ND 4.0



Figura 55: Frotado de muestra de suelo entre los dedos índice y pulgar

Paso 8

Y además:

Es fácil de amasar, mancha mucho los dedos, es pegajoso, al agregar agua y frotarlo con la mano se observan y se sienten algunos granos de arena.

Franco limoso (FL)

Si su suelo no coincide con esta descripción, entonces vuelva al Paso 7 e intente de nuevo.

Paso 9

Es fácil de amasar, mancha los dedos, es algo pegajoso, al agregar agua a un pedazo de suelo en la palma de la mano y frotarla se ven y se sienten granos de arena.

Franco (F)

Si su suelo no coincide con esta descripción, entonces vuelva al Paso 7 e intente de nuevo.

Paso 10

Intente formar con mucho cuidado pequeños cilindros alargados entre los dedos pulgar e índice y observe (Figura 56):

Recuerde: Limpie un poco los dedos antes de intentarlo.

Forma rollos muy cortos que se rompen con mucha facilidad y es un poco pegajoso. Vaya al Paso 11.

No forma cintas y no es pegajoso. Vaya al Paso 12

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com



Figura 56: Formación de pequeños cilindros alargados entre los dedos índice y pulgar

Paso 11

Y además: Los granos de arena son visibles, es fácil de amasar, mancha las manos, se siente áspero y talcoso, es opaco y forma una superficie rizada al raspar con la uña, los terrones se desmenuzan fácilmente cuando está húmedo.

Franco arenoso (Fa)

Si su suelo no coincide con esta descripción, entonces vuelva al Paso 10 e intente de nuevo.

Paso 12

Y además: Es muy arenoso, blando, mancha poco las manos, es opaco, al agregar agua y frotarlo con la mano se sienten y observan muchos granos de arena, al raspar con la uña la superficie es rugosa y cuando está húmedo se desmenuza fácil.

Areno francoso (aF)

Si su suelo no coincide con esta descripción, entonces vuelva al paso 10 e intente de nuevo.

Paso 13

Y además: Al amasar se sienten algunos terrones, mancha mucho los manos, al raspar con la uña se forma una superficie fruncida y cuando se seca deja una sensación talcosa.

Franco arcilloso (FA)

Si su suelo no coincide con esta descripción, entonces vuelva al Paso 3 e intente de nuevo.

Paso 14

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

Y además: No es terronoso, mancha las manos, es algo pegajoso, al raspar con la uña se forma una superficie fruncida y en húmedo los terrones de suelo se desmenuzan con facilidad o con una fuerza moderada.

Arcillo arenosos (Aa)

Si su suelo no coincide con esta descripción, entonces vuelva al Paso 3 e intente de nuevo.

Paso 15

Al amasar el suelo, usted: Siente el suelo suave y talcoso. Vaya al Paso 16

Siente el suelo duro, liso y muy jabonoso. Vaya al Paso 17.

Paso 16

Y además: Forma círculos resistentes y firmes, mancha mucho las manos, es muy pegajoso, la superficie es brillante, al raspar con la uña se forma una superficie lisa y brillante, tiene consistencia mantequillosa al amasar.

Arcillo limoso (AL)

Si su suelo no coincide con esta descripción, entonces vuelva al Paso 15 e intente de nuevo.

Paso 17

Y además: Es duro de amasar, forma círculos muy resistentes y firmes, mancha los dedos, es pegajoso, la superficie es muy brillante, al raspar con la uña se forma una superficie lisa y con brillo.

Arcilloso (A)

Si su suelo no coincide con esta descripción, entonces vuelva al Paso 15 e intente de nuevo.

Preguntas

- 1, ¿Por qué es importante conocer la textura del suelo?
2. ¿Por qué se usa dispersante en el método de Bouyoucos?
3. ¿Qué ocurriría con los resultados si no se usa dispersante?
4. ¿Por qué la materia orgánica afecta las lecturas del hidrómetro?
5. ¿Cómo afecta la temperatura (y por qué) la lectura del hidrómetro, si es mayor o menor de 19.4°C en el cilindro al hacer el experimento?

Método 3:

Este método se utiliza mediante Guía para determinar manualmente la clase textural de los

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

suelos que se muestra en la figura 57, 58 y 59.

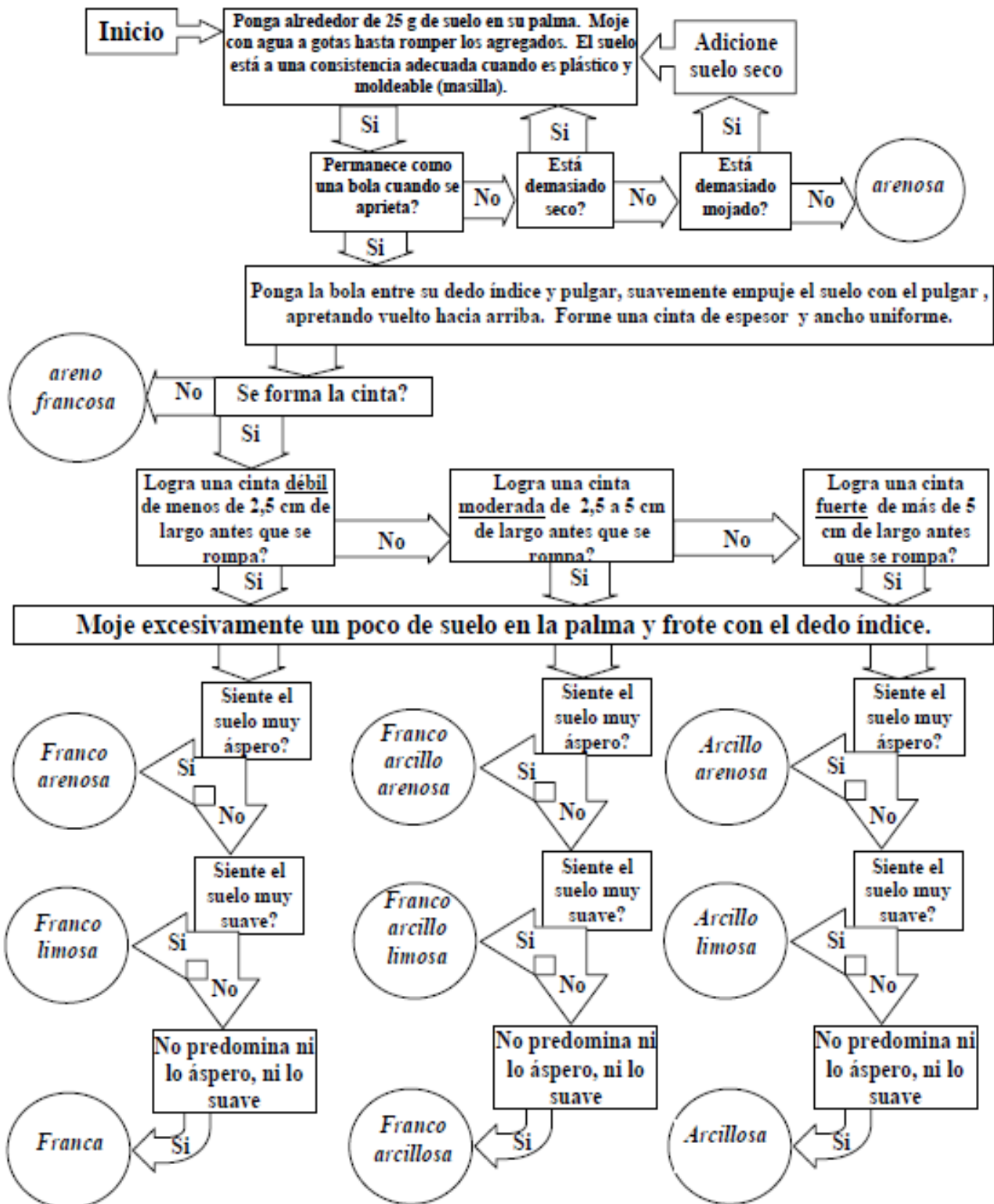
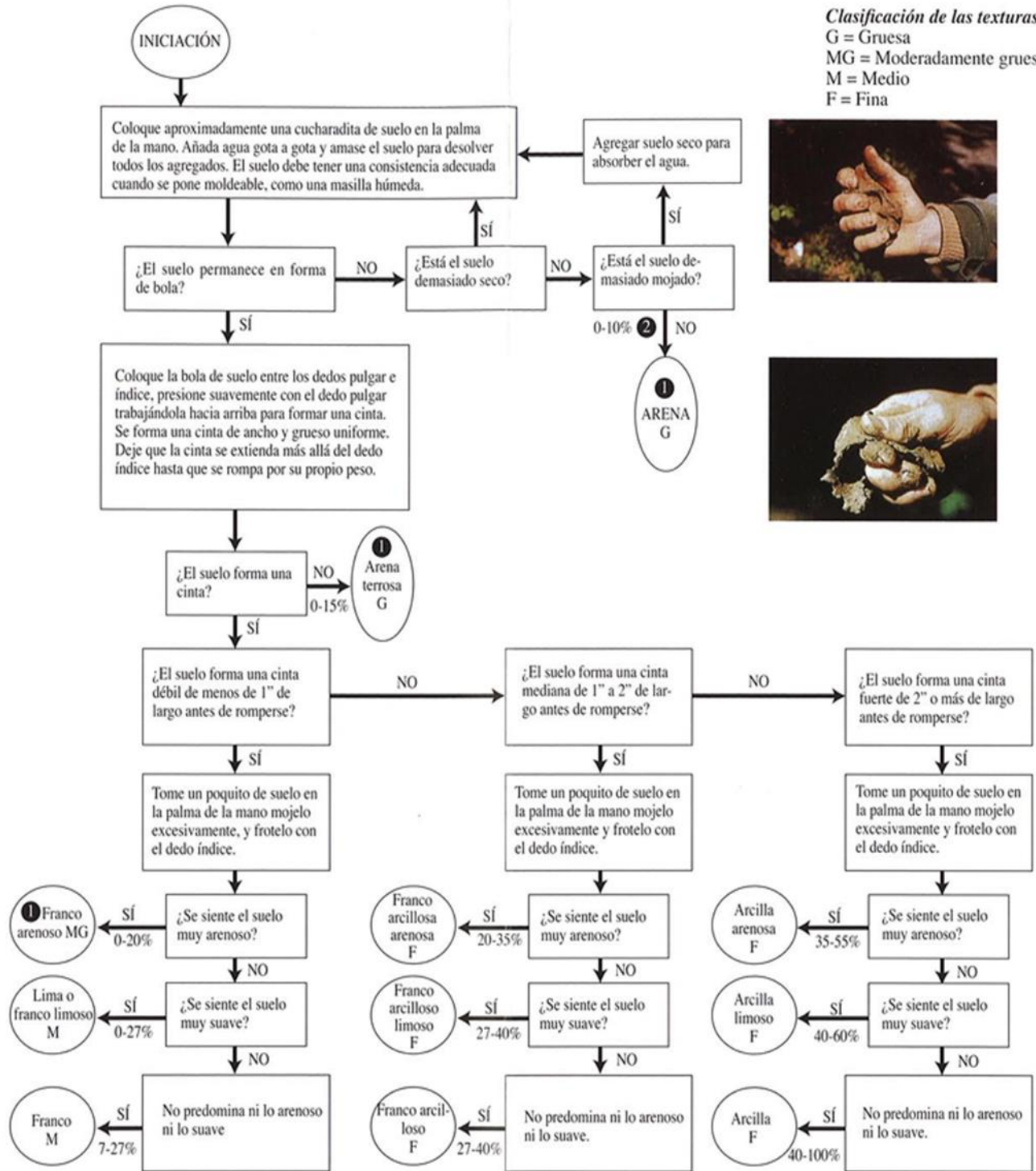


Figura 57: Guía para determinar manualmente la clase textural de los suelos
Tomado de: (Soil Health Assessment)

CC BY-NC-ND 4.0

DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA DEL SUELO POR MEDIO DEL “MÉTODO DEL TACTO” ③

Clasificación de las texturas:
 G = Gruesa
 MG = Moderadamente gruesa
 M = Medio
 F = Fina



① El tamaño de las partículas de arena debe estimarse (muy fina, fina, medio, arenoso) para estas texturas. Los granos individuales de una arena muy fina no son visibles sin una lupa y hay una sensación de masilla si se coloca una pequeña cantidad de la muestra entre los dientes. Algunas partículas de arena fina apenas pueden verse. Las partículas medianas son fácilmente visibles. Ejemplos de descripciones de arenas en las cuales predomina un tamaño son: arena muy fina, tierra arenosa fina, y arena fina terrosa.

② Variación del porcentaje de arcilla.

③ Modificado de: Thion, Steve J; Kansas State University, 1979 Jour Agronomy Education.

Photo Credit: R. Weil, University of Maryland

Figura 58: Determinar manualmente la clase textural de los suelos mejorado (USDA) Tomado de (Tomado de: (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 2000)

CC BY-NC-ND 4.0

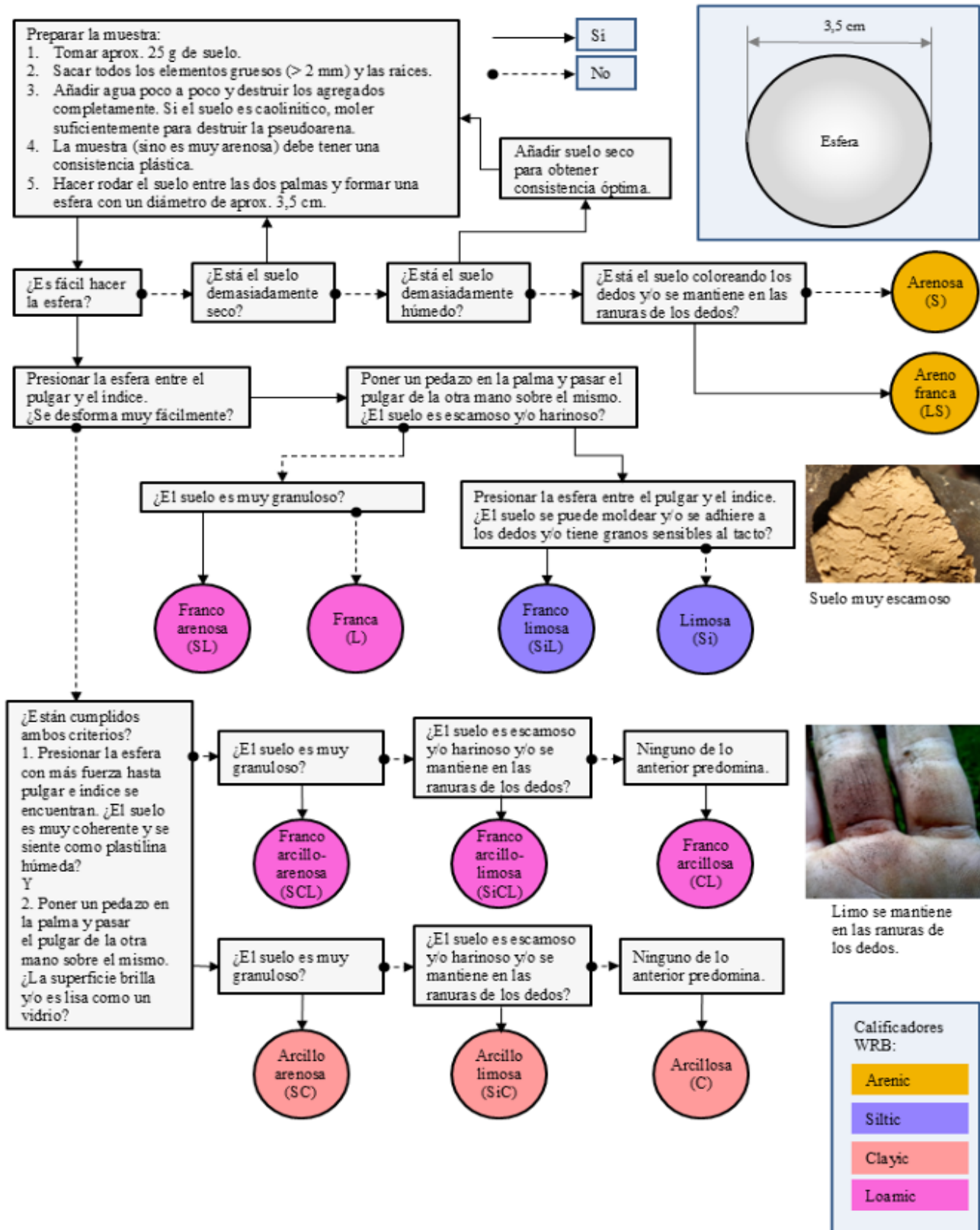


Figura 59: Guía para determinar manualmente la clase textural de los suelos por WRB
 Tomado de: (Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB), 2022)

CC BY-NC-ND 4.0

5- Granulometría por evaluación visual de la sedimentación

Este método es fundamentalmente una aproximación de la textura del suelo (Figura 60) cuando no se tiene ningún acceso en su totalidad a alguno de los dos primeros métodos de estimación calculado, siendo estos granulometría por tamizado y granulometría por sedimentación utilizando un densímetro. Este método es una manera de comprobación respecto al tercer método (el que utiliza las propiedades cualitativas como el tacto y el comportamiento físico de la adhesión y la cohesión). Comunmente este cuarto método es llamado como el método del frasco o el método del tarro y de otras maneras según las conveniencias.

El procedimiento en términos edafológicos a la muestra de suelo siempre se debe de tamizar, sea con tamiz o con un colador o con una malla o con un cedazo pero con una abertura máxima de 2,00 mm y a esta muestra se le debe de aplicar el siguiente procedimiento:

- 1) Llene el frasco 1/3 de su capacidad con el suelo que se va a analizar
- 2) Llene el resto del frasco con agua limpia, pero deje algo de espacio en la parte superior.
- 3) Tape el frasco y agite vigorosamente hasta que el suelo se convierta en una mezcla uniforme
- 4) Colocar sobre una superficie nivelada muy estable (no debe tener movilidad por lo menos durante 2 días) y cronometrar durante 40 segundos (en algunas oportunidades se utiliza 1,0 minutos)
- 5) Coloque una marca en el exterior del frasco, mostrando la capa de arena gruesa asentada en el fondo del frasco
- 6) Dejar el frasco en el mismo lugar nivelado durante 2 horas.
- 7) Marque la parte superior de la siguiente capa asentada con el marcador permanente. Esta es la capa de limo.
- 8) Deje el frasco en el mismo lugar nivelado durante 48 horas.
- 9) Marque la parte superior de la siguiente capa asentada con el marcador permanente. Esta capa representa la arcilla que se ha asentado sobre la capa de limo.

CC BY-NC-ND 4.0

- 10) Con una regla, mida y registre la altura de cada capa y la altura total de las tres capas.
- 11) Utilice la hoja de trabajo que es el triángulo textural para análisis de la textura del suelo.



Figura 60: Guía para determinar manualmente la clase textural de los suelos meorado
Tomado de: (Clemson Cooperative Extension, 2023)

12)Calcular:

- a) ALTURA TOTAL DE LAS CAPAS _____inches/cm
- b) % ARENA = (altura de la arena)/(altura total) x 100 = _____ % ARENA
- c) % LIMO = (altura del limo)/(altura total) x 100 = _____ % LIMO
- d) % ARCILLA=(altura de la arcilla)/(altura total) x 100 = _____ % ARCILLA

13)Utilice el triángulo de textura del suelo para estimar el tipo de suelo para el sitio.

- i) Los porcentajes de arcilla se enumeran en el lado izquierdo del triángulo textural. Las líneas correspondientes a los porcentajes de arcilla se extienden desde los porcentajes que se leen de izquierda a derecha.
- ii) El porcentaje de limo está en el lado derecho, con líneas que se extienden hacia abajo, en diagonal de derecha a izquierda.
- iii) El porcentaje de arena está en el lado derecho, con líneas que se extienden hacia arriba, en diagonal de derecha a izquierda.

CC BY-NC-ND 4.0

14) Rastree las líneas con los porcentajes medidos y encuentre el punto de unión en el triángulo textural donde se cruzan las tres líneas correspondientes a los porcentajes de arenas, limos y arcillas encontrados. La región donde se cruzan estas líneas indica el tipo de textura suelo presente.

El ejemplo presentado en la figura 50 representa una textura de suelo franco.

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -
Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

Bibliografía

BENGOUGH, A., MULLINS, C. 1991 Penetrometer resistance, root penetration and root elongation rate in two sandy loam soils. *Pl. Soil* 131:59-66.

EHLERS, W., KÖPKE, U., HESSE, F., BÖHM, W. 1983. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. *Soil Till. Res.* 3:261-275.

<http://www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy3/articulos/n3/texto/fovalles.htm>

<http://edafologia.ugr.es/IntroEda/tema04/imagenes/micrdesc.gif>

<http://edafologia.ugr.es/IntroEda/tema04/imagenes/micriont.gif>

http://es.wikipedia.org/wiki/Textura_del_suelo

Forsythe, W. 1975. Física de Suelos. Centro Interamericano de documentación. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de Costa Rica.

Foster; B. 1964. Métodos Aprobados en Conservación de Suelos Centro Regional de Ayuda Técnica (A.I.D.) México.

González, M. 1975. Manual de Laboratorio de Edafología. Publicaciones de la Universidad de Costa Rica, San José Costa Rica.

Hesse, P.R. 1971. A Textbook Of Soil Chemical Analysis Chemical Publishing. Co. Inc. New York, U.S.A.

http://images.google.co.cr/imgres?imgurl=http://www.iqb.es/diccio/images/ph2.jpg&imgrefurl=http://www.iqb.es/diccio/e/ph.htm&usq=__TSEJmRm8DGPJUqin0pwz-qb_t3g=&h=358&w=344&sz=34&hl=es&start=2&um=1&tbnid=1p2HYJlrHAnVnM:&tbnh=121&tbnw=116&prev=/images%3Fq%3Descala%2Bacidez%2Bdel%2Bph%26hl%3Des%26sa%3DN%26um%3D1

Jackson, M.L. 1958. Soil Chemical Analysis Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs. N.Y.

MARTINO, D., SHAYKEWICH, C. 1994. Root penetration profiles of wheat and barley as affected by soil penetration resistance in field conditions. *Can. J. Soil Sci.* 74:193-200.

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

TAYLOR, H., GARDNER, H. 1963. Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content, and strength of soil. *Soil Sci.* 96:153- 156.

TAYLOR H. ROBERSON, G., PARKER, J. 1966. Soil strength-root penetration relations for medium- to coarse-textured soil materials.
Soil Sci. 102:18-22.

Yúfera E.P. 1973. *Química Agrícola 1. Suelos y Fertilizantes* Editorial Alhambra. España.

(s.f.). Recuperado el Junio de 2025, de <https://www.collegesidekick.com/study-docs/7130793>

(s.f.). *Lección 4. PROPIEDADES FÍSICAS*. Recuperado el Junio de 2025, de
<http://www.edafologia.net/introeda/tema04/text.htm>

(s.f.). Recuperado el Junio de 2025, de
<https://slideplayer.es/slide/13937448/85/images/60/Textura+Tri%C3%A1ngulo+textural.jpg>

(s.f.). Recuperado el Junio de 2025, de
<https://slideplayer.es/slide/14305360/89/images/7/Tri%C3%A1ngulo+de+clasificaci%C3%B3n+de+suelos+seg%C3%BAAn+textura+de+acuerdo+con+el+sistema+internacional.jpg>

(s.f.). Recuperado el Junio de 2025, de
<https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=CzGgmXlj&id=6F32C9126FBAA8E36947488EB9D92A2C4B11A95&thid=OIP.CzGgmXljSMkbDvg4m3k-YgHaGt&mediaurl=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fprofile%2FGregorio-Martinez-2%2Fpublication%2F274836392%2Ffigure%2>

Angelone, S., Garibay, T., & Cauhapé, M. (Setiembre de 2006). *Geología y Geotécnica. Permeabilidad de suelos*, 39. Rosario, Argentina. Recuperado el Junio de 2025

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -
Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarriavae@gmail.com

- Arquitectos Sen Froteiras. (s.f.). *FICHA TÉCNICA: SISTEMA CONSTRUCTIVO ADOBE/TAPIAL*. Recuperado el Junio de 2025, de https://www.udc.es/es/files/dhabitat/pcr/pcr2010/Ficha_tecnica_adobe-tapial.pdf
- Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB). (2022). *Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos*. Recuperado el Junio de 2025, de https://wrb.isric.org/files/WRB_fourth_edition_Spanish.pdf
- BRITO RAMOS , T., CONCEIÇÃO GONÇALVES , M., CASIMIRO MARTINS , J., & SANTOS PEREIRA, L. (Noviembre de 2016). *Características de retenção de água no solo para utilização na rega das culturas*, 77. Lisboa, Portugal. Recuperado el Junio de 2025, de https://www.researchgate.net/publication/309735078_Caracteristicas_de_retencao_de_agua_no_solo_para_utilizacao_na_rega_das_culturas
- Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (s.f.). *Determinación del tamaño de partículas: Carta para la determinación de la textura del suelo*. Venezuela. Recuperado el Junio de 2025
- CFAPE.COM - EDUCACIÓN SUPERIOR A DISTANCIA . (2010). *UNIDAD III: PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO*. Recuperado el Junio de 2025, de https://cfape.com/cursosID.php?cod_publicacion=220&cod_asig=25000370
- Clemson Cooperative Extension. (2023). *Home and Garden Information Center*. Recuperado el Junio de 2025, de <https://hgic.clemson.edu/factsheet/soil-texture-analysis-the-jar-test/>
- Das, B. (s.f.). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. Recuperado el Junio de 2025, de https://www.academia.edu/9716124/FUNDAMENTOS_DE_INGENIERIA_GEOT%C3%88CNICA?nav_from=e20baeba-8814-4bfb-b545-f7c9b2dc1559

CC BY-NC-ND 4.0

- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (Febrero de 2000). *Cálculo de la humedad del suelo por tacto y apariencia*, 14. Recuperado el Junio de 2025, de <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2023-01/Calculo-De-La-Humedad-Del%20Suelo-Por-Tacto-Y-Apariencia.pdf>
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos USDA. (Febrero de 2000). *Cálculo de la humedad del suelo por tacto y apariencia*, 14. Recuperado el Junio de 2025, de <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2023-01/Calculo-De-La-Humedad-Del%20Suelo-Por-Tacto-Y-Apariencia.pdf>
- Facultad de Ingeniería UNAM - División de Educación Continua. (Setiembre de 2003). *CA042 Laboratorio de Mecánica de Suelos I*, 419. Distrito Federal, México. Recuperado el Junio de 2025, de http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/15416/dec_d_3541.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- GARCIA CABALLERO, Y., & VÁSQUEZ QUINTERO, J. (Marzo de 2023). TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL. *ANÁLISIS DE MODELOS DE ESTIMATIVA DE LA ASCENSIÓN CAPILAR EN SUELOS NO SATURADOS*, 69. CARTAGENA DE INDIAS, Colombia. Recuperado el Junio de 2025, de <https://repositorio.unicartagena.edu.co/server/api/core/bitstreams/e1467aab-8092-4f2e-bc2a-6314a773ed0d/content>
- GEO. (2024). *El ensayo granulométrico por tamizado*. Barcelona, España. Recuperado el Junio de 2025, de <https://geo-webonline.com/el-ensayo-granulometrico-por-tamizado/>
- Geomecánica, Capítulo 5. (2016). *Clasificación de suelos*, 11. Colombia. Recuperado el Junio de 2025, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>
- Hernández, J. L. (2007). *Métodos para el análisis físico de los suelos*. San José de las Lajas, La Habana, Cuba. Recuperado el 01 de 04 de 2019, de http://ediciones.inca.edu.cu/files/folletos/metodos_analisis.pdf

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -
 Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarriavae@gmail.com

Matus Lazo, I., & Blanco Rodríguez, M. (s.f.). *Clasificación Unificada de Suelos (SUCS)*, 7. Recuperado el Junio de 2025

Mecánica de suelos I. (s.f.). *Capilaridad de los suelos*, 18. Recuperado el Junio de 2025, de <https://pdfcoffee.com/qdownload/capilaridad-en-los-suelos-13-pdf-free.html>

Olavarría Bastidas, J. (s.f.). *Carta de plasticidad de Casagrande*. Recuperado el Junio de 2025, de <https://www.ingenieriaelemental.com/posts/es/carta-de-plasticidad>

Rodríguez Pérez, F. (2007). método del hidrómetro: base teórica para su empleo en la determinación de la distribución del. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16, 19 - 24. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/932/93216305.pdf>

Soil Health Assessment. (s.f.). *Métodos al tacto para la determinación de textura del suelo*. Recuperado el Junio de 2025, de <https://smallholder-sha.org/home/bienvenidos/textura-del-suelo/>

TECNAL. (s.f.). *Textura y granulometría del suelo: comprenda esta relación*. Piracicaba, Sao Paulo, Brasil. Recuperado el Junio de 2025, de https://tecnal.com.br/es/blog/294_textura_y_granulometria_del_suelo_comprenda_esta_relacion

TECNOLOGÍA DEL CONCRETO - UAP V Ciclo. (Abril de 2016). *Agregados*. Perú. Recuperado el Junio de 2025, de <https://rosangelicatecdelconcreto.blogspot.com/2016/04/>

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). (Agosto de 2011). *Manual de mecánica de suelos (Manual de 7mo semestre)*, 123. Hidalgo, México. Recuperado el Junio de 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA, FACULTAD TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION, DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA . (s.f.). PRACTICAS DE LABORATORIO DE FUNDAMENTOS DEL SUELO. *Práctica No 3: Determinación de Textura al tacto*. Recuperado el Junio de 2025, de

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -
Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

<https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fuisilvert.wordpress.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2012%2F03%2Fprc3a1ctica-4-fsue-textura-actacto.docx&wdOrigin=BROUSELINK>

Universidad Nacional de la Plata - Facultad de Arquitectura y Urbanismo. (2013). Ficha No. 14, Clasificación de suelos. Procesos constructivos. *Sistema Unificado de Clasificación de Suelos de Casagrande*. La Plata, Argentina.

Vera, L., Hernández, A., Mesías, F., Guzmán, Á., & Cedeño, Á. (Junio de 2017). *MANUAL PARA LA CARTOGRAFÍA DE SUELOS Y LA DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELOS (Adaptado a las características de los suelos de la parte centro norte de Manabí, 76*. Quito, Ecuador. Recuperado el Junio de 2025, de https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Triangulo-Textural-tomado-de-la-Clasificacion-Soil-Taxonomy-Soil-Survey_fig1_330968626

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -
Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

Anexos

CC BY-NC-ND 4.0

Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela Ingeniería Agrícola -
Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal. adchavarría@itcr.ac.cr chavarrivae@gmail.com

Anexo 1: Sistema de clasificación de la USCS y otros

De acuerdo con el sistema Unificado, los suelos de grano se dividen en:

1. Grava y suelos gravosos; símbolo **G**
2. arena y suelos arenosos; símbolo **S**

Las gravas y las arenas se dividen separadamente en cuatro grupos:

- a. Bien graduadas, material relativamente limpio; símbolo **W**.
- b. Material bien graduado con excelente cementante arcilloso; símbolo **C**.
- c. Mal graduadas, material relativamente limpio; símbolo **P**.
- d. Materiales gruesos con finos, no comprendidos en los grupos anteriores; símbolo **M**

Los suelos finos se dividen en tres grupos:

1. suelos limosos inorgánicos y suelos arenosos muy finos; símbolo **M**
2. arcillas inorgánicas; símbolo **C**.
3. limos y arcillas orgánicas; símbolo **O**.

Cada uno de estos tres grupos de suelos finos se subdivide de acuerdo al Límite Líquido en:

- a. suelos finos con limite liquido de 50 o menos; es decir; de baja a mediana compresibilidad; símbolo **L**.
- b. Suelos finos con Límite Líquido mayor que 50: es decir, de elevada compresibilidad; símbolo **H**.

Suelos con elevada proporción de materia orgánica fibrosos, como la turba y los fangos de muy alta compresibilidad, no se subdividen y se colocan en un grupo; su símbolo es **Pt**, basándose en la clasificación a simple vista.

CC BY-NC-ND 4.0

SIST. DE CLASIFICACION USCS

Gruesos (< 50% pasa 0.08 mm)						
Tipo Suelo	Símbolo	% Ret. en 5 mm	% Pasa 0.08 mm*	CU	CC	** IP
Grava	GW	50% de lo Ret. en 0.08 mm.	<5	>4	1 a 3	
	GP			Si no cumple requisito de GW es GP		
	GM	>12				< 0.73(W _L -20) ó <4
	GC					> 0.73(W _L -20) y >7
Arena	SW	< 50% de lo Ret. en 0.08 mm.	<5	>6	1 a 3	
	SP			Si no cumple requisito de SW es SP		
	SM	>12				< 0.73(W _L -20) ó <4
	SC					> 0.73(W _L -20) y >7
* Entre 5 y 12 % usar simbología doble como GW-GC, GP-GM, SW-SM, SP-SC						
** Si IP=0.73(w-20) ó si IP entre 4 y 7 e IP>0.73 (W _L -20), usar simbología doble: GM-GC, SM-SC						
En casos dudosos favorecer la Clasificación menos Plástica. E] GW-GM en vez de GW-GC						
CU = (φ 60/φ 10)				CC = φ 30 ² /(φ 60*φ 10)		

SIST. DE CLASIFICACION USCS

Finos (> 50% pasa 0.08 mm)					
Tipo Suelo	Símbolo	Lim. Liq. W _L	* IP		
Limo Inorgánico	ML	<50	< 0.73(W _L -20) ó <4		
	MH	>50	< 0.73(W _L -20)		
Arcillas Inorgánicas	CL	<50	> 0.73(W _L -20) y >7		
	CH	>50	> 0.73(W _L -20)		
Limo o Arcillas Orgánicas	OL	<50	** W _L seco al horno ≤ 75% del W _L seco al aire		
	OH	>50			
Altamente Orgánicos	P _t	Materia Orgánica fibrosa se carboniza, se quema o se pone incandescente			
* Si IP=0.73(W _L -20) ó si IP entre 4 y 7 e IP>0.73 (w-20), usar simbología doble: CL-ML, CH-OH					
** Si tiene olor orgánico debe determinarse adicionalmente w seco al horno					
En casos dudosos favorecer la Clasificación menos Plástica. E] CH-MH en vez de CL-ML					
Si w = 50; CL-CH ó ML-MH					

CC BY-NC-ND 4.0

Continuación Anexo 1

Relaciones entre clases de tamaño de partículas en diferentes sistemas

		TIERRA FINA										FRAGMENTOS DE ROCA				150	380						
USDA ¹	Arcilla	Limo			Arena			Grava			Guijones	Piedras	Bloques	lejas		losas							
		fino	muy fina	grueso	finia	me dia	gsa	muy gsa	finia	media				gruesa	76		250 mm	600 mm					
		.02	.05	.1	.25	.5	1	2 mm	5	20	76	250 mm	600 mm										
Tamiz estándar, de EE.UU., N° (abertura):																							
		300	140	60	35	18	10	4	(3/4")	(3")	(10")	(25")											
<i>Inter-nacional</i> ²																							
	Arcilla	Limo			Arena			Grava			Piedras												
		.002 mm	.02	.25	.25	2 mm	20 mm																
<i>Unificado</i> ³																							
	Limo o Arcilla	Arena			Grava			Guijones		Bloques													
		.074	.42	2 mm	4.8	19	76	300 mm															
<i>AASHTO</i> ^{4,5}																							
	Arcilla	Limo			Arena			Grava o Piedras			Roca partida (angular) o Bloques (redondeados)												
		.005 mm	.074	.42	2 mm	9.5	25	75 mm															
Tamiz estándar, De EE.UU., N° (abertura):																							
		200	40	10	(3/8")	(1")	(3")																
phi #:																							
		12	10	8	7	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-12
<i>Wentworth modificado</i> ⁶																							
	← arcilla →	← limo →	← arena →	← guijarros →	← guijones →	← bloques →																	
		.002	.004	.008	.016	.031	.062	.125	.25	.5	1	2 mm	8	16	32	64	256	4092 mm					
Tamiz estándar, de EE.UU., N° (abertura):																							
		230	120	60	35	18	10	5															

CC BY-NC-ND 4.0

Continuación Anexo 1

DIVISIÓN MAYOR		SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO		
SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 ⊕	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4 PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE ½ cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	GRAVAS LIMPIA Poco o nada de partículas finas	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Cu: mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA Cc: entre 1 y 3. $Cu = D_{60} / D_{10}$ $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$	
			GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos		NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW.
		GRAVA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	* d	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo	LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.	Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.
			u			
		GC	Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla	LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.		
		ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4 PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE ½ cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	ARENA LIMPIA Poco o nada de partículas finas	SW	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.	Cu = D ₆₀ / D ₁₀ mayor de 6 ; Cc = (D ₃₀) ² / (D ₁₀)(D ₆₀) entre 1 y 3.
			SP	Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.	No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW	
	ARENA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas		* d	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.	Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.
		u				
	SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.	LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.			
	SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 ⊕ Las partículas de 0.074 mm de diámetro (la malla N° 200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor de 50	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	G – Grava, S – Arena, O – Suelo Orgánico, P – Turba, M – Limo C – Arcilla, W – Bien Graduada, P – Mal Graduada, L – Baja Compresibilidad, H – Alta Compresibilidad	
			CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.		
OL			Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.			
LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido Mayor de 50		MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos.	CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S.) 		
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas			
		OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.			
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.			

CC BY-NC-ND 4.0

** CLASIFICACIÓN DE FRONTERA- LOS SUELOS QUE POSEAN LAS CARACTERÍSTICAS DE DOS GRUPOS SE DESIGNAN CON LA COMBINACIÓN DE LOS DOS SÍMBOLOS; POR EJEMPLO GW-GC, MEZCLA DE ARENA Y GRAVA BIEN GRADUADAS CON CEMENTANTE ARCILLOSO.

⊕ TODOS LOS TAMAÑOS DE LAS MALLAS EN ESTA CARTA SON LOS U.S. STANDARD.

* LA DIVISIÓN DE LOS GRUPOS GM Y SM EN SUBDIVISIONES *d* Y *u* SON PARA CAMINOS Y AEROPUERTOS ÚNICAMENTE, LA SUB-DIVISIÓN ESTA BASADA EN LOS LÍMITES DE ATTERBERG EL SUFJO *d* SE USA CUANDO EL L.L. ES DE 28 O MENOS Y EL I.P. ES DE 6 O MENOS. EL SUFJO *u* ES USADO CUANDO EL L.L. ES MAYOR QUE 28.

Continuación Anexo 1

El sistema de la AASHTO. Hacia 1928, el Bureau of Public Roads presento un sistema de clasificación de suelos que todavía usan muchos los ingenieros de caminos

Este sistema divide a los suelos en ocho grupos designados por los símbolos de A-1 al A-8.

En el sistema de la AASHTO los suelos inorgánicos se clasifican en 7 grupos que van del A-1 al A-7 y estos su vez se subdividen en 12 grupos.

se considero que le mejor suelo para ser usado en la subrasante compuesto principalmente de arena y grava, se le dio el nombre A-1.

Los suelos restantes se agrupan en orden decreciente de estabilidad.

- Los suelos con elevada proporción de materia orgánica se clasifican como A-8. Cualquier suelo que contenga material fino se identifica además por su índice de grupo; cuanto mayor es el índice, peor es el suelo.
- El índice de grupos se calcula con la formula:
 - $\text{Índice de grupo} = (F-35)0.2+005(W_L-40)+0.01(F-15)(I_p-10)$

En la que :

- F= porcentaje del suelo que pasa por la malla N^o200, expresado como numero entero.
 - W_L = limite liquido.
 - I_p = índice de plasticidad.
- El índice de grupo siempre se reporta aproximándolo al numero entero mas cercano, a menos que su valor calculado sea negativo, en cuyo caso se reporta como cero. El índice de grupo se agrega a la clasificación de grupo y subgrupo. Por ejemplo, un suelo arcilloso que tenga un índice de grupo de 25, puede clasificar como A-7-6 (25).

CC BY-NC-ND 4.0

CLASIFICACION GENERAL	SUELOS GRANULARES (<= 35% pasa por malla N° 200)						SUELOS FINOS (> 35% pasa por malla N° 200)			
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7
GRUPO	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6*				
N° 10	<=50									
N° 40	<=30	<=50	>=51							
N° 200	<=15	<=25	<=10	<35			>=36			
LW			<=40	>=41	<=40	>=41	<=40	>=41	<=40	>=41
IP	<=6		N.P.	<=10	>=11	>=11	<=10	<=10	>=11	>=11
IG	0	0	0	0	<4	<4	<=8	<=12	<=16	<=20
C.B.R.	40-80		<=20	>=20	20-40	20-40	<=15	<=10	<=15	<=5
Descripción	Gravas y Arenas	Arena Finas	Gravas y Arenas Limosas o Arcillosas	Suelos Limosos	Suelos Arcillosos					

** A-7-5= IP <= (Lw-30)

** A-7-6= IP > (Lw-30)

$$IG=(f_{200-35})*(0.2+0.005*(W_L-40))+(f_{200-15})*(IP-10)^*0.01$$

* Para A-2-6 y A-2-7 : IG=(f₂₀₀₋₁₅)*(IP-10)*0.01

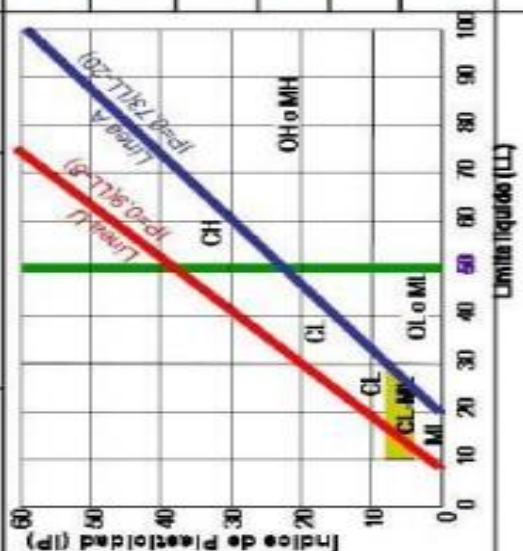
Si el Suelos es N.P.: IG=0 ; si IG < 0 se toma IG = 0

f₂₀₀ = Porcentaje de suelos que pasa por la malla N° 200

CC BY-NC-ND 4.0

Continuación Anexo 1: Sistema unificado de clasificación de suelo (SUCS)

DIVISIÓN	CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN		SIM	NOMBRES TÍPICOS
SUELOS DE GRANO GRUESO < 50% Pasa por el Nº 200 (0,075 mm)	<p>GRAVAS <50% de la fracción gruesa pasa por el Nº 4 (4,75 mm)</p>	<p>$C_u > 4, 1 < C_c < 3$</p> <p>No se cumplen criterios GW</p>	GW	Gravas bien graduadas ↓ fino
		<p>↓ Línea A o IP < 4</p> <p>↑ Línea A e IP > 7</p>	GP	Gravas mal graduadas, ↓ fino
SUELOS DE GRANO FINOS ≥ 50% Pasa por el Nº 200 (0,075 mm)	<p>ARENAS >50% de la fracción gruesa pasa por el Nº 4 (4,75 mm)</p>	<p>Límites: Área sombreada, símbolo doble</p>	GM	Gravas limosas
		<p>↑ Línea A e IP > 7</p>	GC	Gravas arcillosas
SUELOS DE GRANO FINOS ≥ 50% Pasa por el Nº 200 (0,075 mm)	<p>$C_u > 6, 1 < C_c < 3$</p> <p>No se cumplen criterios SW</p>	<p>Arenas limpias</p>	SW	Arenas bien graduadas, ↓ fino
		<p>↓ Línea A o IP < 4</p> <p>↑ Línea A e IP > 7</p>	SP	Arenas mal graduadas, ↓ fino
SUELOS DE GRANO FINOS ≥ 50% Pasa por el Nº 200 (0,075 mm)	<p>Límites: Área sombreada, símbolo doble</p>	<p>Arenas con finos</p>	SM	Arenas limosas
		<p>↑ Línea A e IP > 7</p>	SC	Arenas arcillosas
SUELOS DE GRANO FINOS ≥ 50% Pasa por el Nº 200 (0,075 mm)	<p>LIMOS Y ARCILLAS LL < 50</p>	<p>Carta de plasticidad: - Para suelos finos y fracción fina de los gruesos - Área sombreada, símbolo doble</p>	ML	Limos inorg., arenas finísimas
			CL	Arcilla. inorg., plast baja-md
SUELOS DE GRANO FINOS ≥ 50% Pasa por el Nº 200 (0,075 mm)	<p>LIMOS Y ARCILLAS LL > 50</p>	<p>Carta de plasticidad: - Para suelos finos y fracción fina de los gruesos - Área sombreada, símbolo doble</p>	OL	Limos org., plast baja
			MH	Limos inorg., micaceos
SUELOS 11 ORGÁNICOS			CH	Arcilla. inorg., plast alta
			OH	Arcilla. org., plast alta-medio
			PT	Turba, y otros suelos orgán.



Continuación Anexo 1: Clasificación para los suelos gruesos según SUCS (más del 50% es retenido en el tamiz #200)

		Simbolo del grupo		Nombre del grupo	
<5% finos	Cu _u ≥4 y 1≤Cc<3	GW	<15% Arena	Grava bien graduada	
	Cu _u <4 y/o 1>Cc>3	GP	≥15% Arena	Grava bien graduada con arena	
5-12% finos	Cu _u ≥4 y 1≤Cc<3	GW-GM	<15% Arena	Grava pobremente graduada	
		GW-GC	≥15% Arena	Grava pobremente graduada con arena	
	Cu _u <4 y/o 1>Cc>3	GP-GM	<15% Arena	Grava bien graduada con limo	
		GP-GC	≥15% Arena	Grava bien graduada con arena y limo	
>12% finos	Finos=ML o MH	GM	<15% Arena	Grava bien graduada con arcilla (o arcilla limosa)	
		GC	≥15% Arena	Grava bien graduada con arena y arcilla (o arena y arcilla limosa)	
	Finos=CL, CH, (o CL-ML)	GP-GM	<15% Arena	Grava pobremente graduada con limo	
		GP-GC	≥15% Arena	Grava pobremente graduada con arena y limo	
GRAVA %Grava>%Arena	Finos=ML o MH	GM	<15% Arena	Grava pobremente graduada con arcilla (o arcilla limosa)	
		GC	≥15% Arena	Grava pobremente graduada con arena y arcilla (o arena y arcilla limosa)	
	Finos=CL o CH	GP-GM	<15% Arena	Grava limosa	
		GP-GC	≥15% Arena	Grava limosa con arena	
ARENA %Arena≥%Grava	Cu _u ≥6 y 1≤Cc<3	SW	<15% Arena	Grava arcillosa	
		SP	≥15% Arena	Grava arcillosa con arena	
	Cu _u <6 y/o 1>Cc>3	SW-SM	<15% Arena	Grava arcillosa, limosa	
		SP-SM	≥15% Arena	Grava arcillosa, limosa con arena	
5-12% finos	Cu _u ≥6 y 1≤Cc<3	SW	<15% Grava	Arena bien graduada	
		SP	≥15% Grava	Arena bien graduada con grava	
	Cu _u <6 y/o 1>Cc>3	SW-SM	<15% Grava	Arena pobremente graduada	
		SP-SM	≥15% Grava	Arena pobremente graduada con grava	
>12% finos	Finos=ML o MH	SM	<15% Grava	Arena bien graduada con limo	
		SC	≥15% Grava	Arena bien graduada con grava y limo	
	Finos=CL, CH, (o CL-ML)	GP-GM	<15% Grava	Arena pobremente graduada con grava y limo	
		GP-GC	≥15% Grava	Arena pobremente graduada con arena y arcilla (o arena y arcilla limosa)	
ARENA %Arena≥%Grava	Finos=ML o MH	GM	<15% Grava	Arena pobremente graduada con grava y limo	
		GC	≥15% Grava	Arena pobremente graduada con arena y arcilla (o arena y arcilla limosa)	
	Finos=CL o CH	GP-GM	<15% Grava	Arena pobremente graduada con grava y limo	
		GP-GC	≥15% Grava	Arena pobremente graduada con arena y arcilla (o arena y arcilla limosa)	
>12% finos	Finos=ML o MH	SM	<15% Grava	Arena pobremente graduada con grava y limo	
		SC	≥15% Grava	Arena pobremente graduada con arena y arcilla (o arena y arcilla limosa)	
	Finos=CL o CH	GP-GM	<15% Grava	Arena limosa	
		GP-GC	≥15% Grava	Arena limosa con grava	
Finos=CL-ML	GP-GM	<15% Grava	Arena arcillosa		
	GP-GC	≥15% Grava	Arena arcillosa con grava		
Finos=CL-ML	GP-GM	<15% Grava	Arena arcillosa, limosa		
	GP-GC	≥15% Grava	Arena arcillosa, limosa con grava		

Continuación Anexo 1

: Clasificación para los suelos finos según el SUCS (más del 50% pasa por el tamiz #200)

		Simbolo del grupo		Nombre del grupo				
LL < 50	Inorgánico	IP > 7 y en el gráfico por encima de la línea "A"	CL	< 30% pasa por el Nº 200	< 15% pasa por el Nº 200	Arcilla magra (poco plástica)		
				> 30% pasa por el Nº 200		Arcilla magra con arena		
		4 ≤ IP ≤ 7 y en el gráfico por encima de la línea "A"	CL-ML	< 30% pasa por el Nº 200	< 15% pasa por el Nº 200	% arena > % grava	Arcilla magra con grava	
				> 30% pasa por el Nº 200		< 15% grava	Arcilla magra arenosa	
						≥ 15% grava	Arcilla magra arenosa con grava	
						≥ 15% arena	Arcilla magra gravosa con arena	
	IP < 4 y en el gráfico por debajo de la línea "A"	ML	< 30% pasa por el Nº 200	< 15% pasa por el Nº 200	% arena > % grava	Limo		
			> 30% pasa por el Nº 200		% arena > % grava	Limo con arena		
	LL ≥ 50	Orgánico	IP en el gráfico por encima de la línea "A"	CH	< 30% pasa por el Nº 200	< 15% pasa por el Nº 200	Arcilla muy plástica	
					> 30% pasa por el Nº 200		% arena > % grava	Arcilla muy plástica con arena
			IP en el gráfico por debajo de la línea "A"	MH	< 30% pasa por el Nº 200	< 15% pasa por el Nº 200	% arena < % grava	Arcilla muy plástica con grava
					> 30% pasa por el Nº 200		< 15% grava	Arcilla muy plástica arenosa
						≥ 15% grava	Arcilla muy plástica arenosa con grava	
						< 15% arena	Arcilla muy plástica gravosa	
IP en el gráfico por debajo de la línea "A"	OH	< 30% pasa por el Nº 200	< 15% pasa por el Nº 200	% arena < % grava	Arcilla muy plástica gravosa con arena			
		> 30% pasa por el Nº 200		≥ 15% arena	Limo plástico			

CC BY-NC-ND 4.0

Continuación Anexo 1: Clasificación para los suelos finos orgánicos según el SUCS (más del 50% pasa por el tamiz #200)

Símbolo del grupo					Nombre del grupo
OL	IP ≥ 4 y en el gráfico por encima de la línea "A"	<30% pasa por el Nº 200	<15% pasa por el Nº 200	% arena > % grava	Arcilla orgánica
			15-29% pasa por el Nº 200	% arena < % grava	Arcilla orgánica con arena
			% arena > % grava	<15% grava	Arcilla orgánica con grava
			>30% pasa por el Nº 200	% arena < % grava	Arcilla orgánica arenosa
				≥15% grava	Arcilla orgánica arenosa con grava
	IP < 4 y en el gráfico por debajo de la línea "A"	<30% pasa por el Nº 200	% arena < % grava	<15% arena	Arcilla orgánica gravosa
			>30% pasa por el Nº 200	≥15% arena	Arcilla orgánica gravosa con arena
				<15% pasa por el Nº 200	Limo orgánico
			% arena > % grava	15-29% pasa por el Nº 200	Limo orgánico con arena
			% arena < % grava	% arena < % grava	Limo orgánico con grava
OH	En el gráfico por encima de la línea "A"	<30% pasa por el Nº 200	% arena > % grava	<15% grava	Limo arenoso
			% arena < % grava	≥15% grava	Limo orgánico arenoso con grava
			>30% pasa por el Nº 200	% arena < % grava	Limo orgánico gravoso
				≥15% arena	Limo orgánico gravoso con arena
				<15% pasa por el Nº 200	Arcilla orgánica
	En el gráfico por debajo de la línea "A"	<30% pasa por el Nº 200	% arena > % grava	% arena > % grava	Arcilla orgánica con arena
			% arena < % grava	% arena < % grava	Arcilla orgánica con grava
			>30% pasa por el Nº 200	% arena > % grava	Arcilla orgánica arenosa
				≥15% grava	Arcilla orgánica arenosa con grava
				<15% arena	Arcilla orgánica gravosa
En el gráfico por debajo de la línea "A"	>30% pasa por el Nº 200	% arena < % grava	≥15% arena	Arcilla orgánica gravosa con arena	
			<15% pasa por el Nº 200	Limo orgánico	
		% arena > % grava	15-29% pasa por el Nº 200	Limo orgánico con arena	
		% arena < % grava	% arena < % grava	Limo orgánico con grava	
			<15% grava	Limo arenoso	
	≥15% grava	Limo orgánico arenoso con grava			
	≥15% arena	Limo orgánico gravoso			
	<15% arena	Limo orgánico gravoso con arena			
	≥15% arena	Limo orgánico gravoso con arena			

CC BY-NC-ND 4.0

La tabla periódica de los elementos



CC BY-NC-ND 4.0