

## METODO SIMPLIFICADO DE ANALISIS PARA LA CLASIFICACION GRANULOMETRICA DE LOS MINERALES DEL SUELO

Mariano Villegas-Soto\*  
Nicolás Aguilera-Herrera\* y  
Lourdes Flores-Delgadillo\*.

### RESUMEN

Se compararon las diferencias que existen entre algunas técnicas de análisis bien conocidas, utilizando suelos de diferentes regiones de México, con objeto de elaborar un método sencillo que agrupase partículas minerales, para comprender la textura del suelo y distinguir sus distintos tipos y series.

Se emplearon los defloculantes más conocidos y se varió el método de agitación; se eliminó la materia orgánica de algunos suelos y, para medir la textura, se utilizó tanto el método de la pipeta, como el del hidrómetro.

Se elaboró una fórmula para poder obtener el diámetro, desde el tiempo de asentamiento, hasta la lectura con el hidrómetro. Para cuantificar la muestra, fue necesaria la comparación de los valores porcentuales con los diámetros.

Los resultados que se obtuvieron con esta técnica pueden compararse con los del método de la pipeta.

### ABSTRACT

Differences among some well-known techniques of analysis were compared, utilizing soils from different parts of Mexico, to achieve a simple method for grouping mineral particles, with the purpose of understanding soil texture to distinguish soil types and series.

The most popular defloculants were used and the agitation method was varied; from some soils, organic matter was eliminated and both pipette and hydrometer methods were used to measure texture.

A relatively simple formula was worked out to obtain diameter from time of settling and hydrometer reading. The plotting of percentage values obtained against diameters, was found indispensable for the quantification of the sample.

Results obtained with this technique may be compared with those obtained by the pipette method.

### ANTECEDENTES

El presente estudio se realizó debido a las dificultades que existen para cuantificar lotes de partículas minerales tales como limos ( $50 - 2 \mu$ ), arcillas (menos de  $2 \mu$  de diámetro) y otras subfracciones. Para llevar a cabo este tipo de análisis, los métodos utilizados más comúnmente son los de pipeta y el hidrómetro; y se basan en la sedimentación gravitacional, de acuerdo con la ley de Stokes.

El primero se considera como más preciso, pero requiere de mayor tiempo; en cambio, el hidrómetro introducido por Bouyoucos (Bouyoucos, 1927) es más sencillo, hace posible fraccionar las partículas de limo y permite conocer el comportamiento del agua en el suelo (Jenison y Kruth, 1955).

El hidrómetro (Figura 1) está graduado para leer directamente gramos de suelo por litro de solución a  $20^\circ \text{C}$ , y se supone que determina la densidad en el centro de volumen, después de corregir el desplazamiento de parte del líquido del bulbo que se origina, cuando se introduce en la suspensión del suelo (American Society for Testing Materials, 1958).

El objetivo del presente estudio fue encontrar un procedimiento que, siendo relativamente sencillo, se ajustase a las leyes de sedimentación, ligando un tiempo dado con una profundidad conocida de partículas y buscando en todo momento concordancia adecuada entre los métodos de hidrómetro y pipeta.

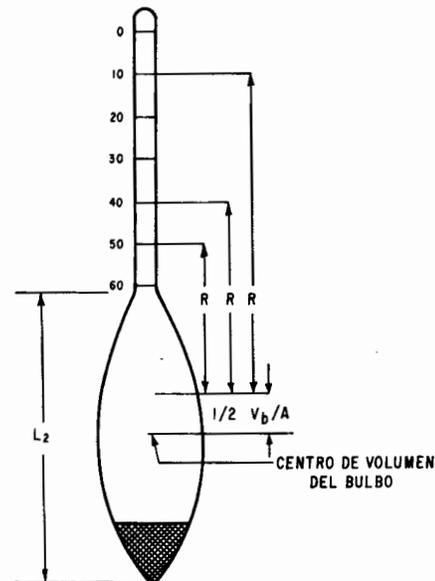


Figura 1.—Características dimensionales del hidrómetro de Bouyoucos ASTM 152H para la fórmula 2 sugerida en este artículo. Los valores  $R$  (gramos por litro) miden la profundidad efectiva en cm considerando a  $L_2$  igual a 14 cm,  $V_b$  (volumen del bulbo) igual a 80 cm y  $A$  (área de la probeta en donde se encuentra la suspensión) igual a 27.4 cm.

\* Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México 20, D. F.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Si nos referimos a la capa superficial del suelo, en este tipo de análisis se obtiene la parte mineral, eliminando la materia orgánica y separando lotes de partículas en forma tal que proporcionen características físicas definidas a los suelos.

Las mayores de 2 mm a 50 micras se separan sirviéndose de tamices; y las de menor diámetro, debido a las cargas eléctricas que las caracterizan, tienden a formar agregados o a permanecer aisladas, según el tipo de cationes que se adhieran a las micelas coloidales, originando con ello errores frecuentes en el conteo y clasificación de las partículas minerales.

En este tipo de análisis, los porcentajes de los diferentes lotes dependen de tres variables:

Tiempo de sedimentación (*t*)

Profundidad a la que se toma la muestra (*h*)

Diámetro máximo del lote interesado (*d*)

La fórmula que liga estas cantidades es:  $h/t = Kd^2$

La *K* es una constante que depende del peso específico del suelo, de la aceleración debida a la gravedad del lugar, de la viscosidad y densidad del agua.

Cuando se usa la pipeta, la *h* generalmente toma el valor de 10 cm y se calculan los tiempos que corresponden a un diámetro determinado por lo que, en este caso, la única variable es el tiempo en que la suspensión permanece en reposo; no así en el caso del hidrómetro, en donde se puede fijar el tiempo, pero la *h* y la *d* son dos variables dependientes de la densidad de la suspensión que, naturalmente, varían con el tiempo, por lo que con este método es necesario hacer una gráfica con los porcentajes como ordenadas y los diámetros como abscisas para conocer la variación de la curva acumulativa y deducir los lotes de partículas que hacen posible la clasificación del suelo.

Las fórmulas que se utilizaron en estos experimentos fueron las siguientes:

$$P = (Ra/W) 100 \dots\dots\dots (1)$$

$$d = 5.57 \frac{\sqrt{98.5-R}}{t} \dots\dots\dots (2)$$

En donde:

*P* = porcentaje de las partículas

*R* = lectura del hidrómetro en gramos por litro de suspensión

*a* = constante que depende del peso específico de la muestra y que aproximadamente toma el valor de 1

*W*<sub>0</sub> = peso en gramos de la muestra usada en el análisis

*d* = diámetros máximos y mínimos en micras

*t* = tiempo de reposo de la suspensión en minutos

MATERIALES Y METODOS

En el primer experimento, se utilizaron como variables las diferentes substancias defloculadoras que generalmente se usan en los laboratorios, con 12 tratamientos y dos repeticiones, eliminando en seis de ellos la materia orgánica.

Las muestras tratadas fueron de 10 gr de suelo y 500 ml de los reactivos; se agitaron durante una hora y se hicieron tomas con pipeta en la suspensión del suelo a los 14 minutos y a una profundidad de 2 cm; los diámetros encontrados fueron menores de 5 micras y los resultados se muestran en la Tabla 1.

Este experimento indica: (1) variabilidad en los resultados obtenidos; (2) que los mejores defloculadores son el metafosfato, el silicato y el oxalato de sodio; y (3) que, eliminando la materia orgánica, se obtiene una mejor suspensión del suelo y, por lo mismo, porcentajes más altos del material en suspensión.

En un segundo experimento se tomó un suelo del Estado de San Luis Potosí, con un pH de 8.7; un segundo del Estado de Veracruz con un pH de 6.1; y un tercero de Xochimilco, D. F., con un pH de 6.7. Los dispersantes utilizados fueron: agua destilada, oxalato de sodio 1%, metasilicato de sodio 1%, Calgón 4%, Sigmaclín 0.1% e hidróxido de amonio concentrado.

Se hicieron cuatro repeticiones para cada tipo de suelo. A 10 gr se les agregó 20 ml del dispersante y 380 ml de agua destilada para completar un volumen total de 400 ml. Después de agitar durante 30 minutos, se tomaron muestras con pipeta de 20 cm<sup>3</sup> a una profundidad de 5 cm, para obtener partículas de 8 micras o menos; se le restó al peso del suelo secado en la estufa a 110° C el dispersante agregado. En la Figura 2 se muestran los resultados logrados en el suelo de San Luis Potosí: las columnas en blanco indican las variaciones comparativas en gramos obtenidas, al usar diferentes defloculantes; las del interior punteado, las diferencias entre medias, tomando como medida comparativa el peso del suelo secado en la estufa, cuando se usó el agua destilada. Cualquiera de estas ordenadas, mayor que la de la columna cuadrículada, muestra una diferencia significativa en un 5%. Se obtuvieron resultados semejantes a los de esta gráfica para los suelos de Veracruz y Xochimilco.

Como se puede observar, el oxalato de sodio, el metasilicato de sodio y el Calgón, con los valores más altos, tienen diferencia significativa cuando se comparan con los defloculantes restantes, lo que nos lleva a concluir nuevamente que son los mejores agentes defloculadores.

En un tercer experimento se hicieron variar las substancias químicas defloculantes, el tiempo de reposo y las formas de agitación de las suspensiones de suelos. Los tratamientos sugeridos fueron:

- (a) — Sin eliminar materia orgánica
- (1) — Con Calgón y agitación intensiva.
- (2) — Con Calgón, agitación intensiva y reposo durante toda la noche.
- (3) — Con Calgón y agitación durante toda la noche.

Tabla 1.—Porcentajes de partículas de 5 micras o menos obtenidos con diferentes defloculantes.

Núm.	Tratamiento	Reactivo defloculador	*Con materia orgánica	*Sin materia orgánica
1	NH <sub>4</sub> OH	0.1 N	0.88%	9.70%
2	Na <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0.1 N	5.88	13.62
3	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0.1 N	3.89	11.68
4	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	0.1 N	6.60	14.53
5	Na <sub>6</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>6</sub>	0.1 N	26.70	33.01
6	Sigmaclín		1.11	8.14

\* Promedio de dos repeticiones

- (b) — Eliminando materia orgánica  
 (1) — Agitación en agua durante toda la noche.  
 (2) — Con Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>·9H<sub>2</sub>O y agitación durante toda la noche.  
 (3) — Con Na<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> y agitación durante toda la noche.  
 (4) — Con Calgón y agitación durante toda la noche.

#### Reactivos:

Calgón pH 11  
 Oxalato de sodio 0.5 normal  
 Matasilicato de sodio 0.5 normal  
 Peróxido de hidrógeno al 30%

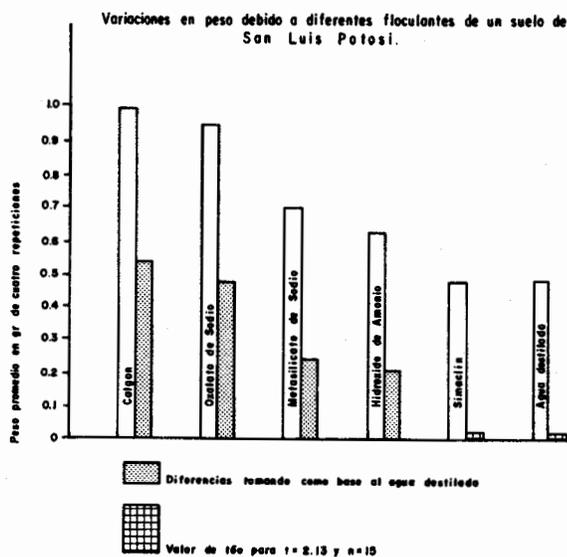


Figura 2.—Variaciones en peso, debido a diferentes defloculantes en un suelo de San Luis Potosí.

Se tomaron ocho muestras de suelo, de 50 gr cada una, de un suelo de Villa del Carbón, Estado de México, y se procesaron de acuerdo con lo especificado en tratamientos; simultáneamente, se determinó el contenido de humedad higroscópica por duplicado. A cuatro de las muestras se les eliminó la materia orgánica con agua oxigenada, siguiendo el procedimiento clásico. Se lavaron para eliminar el exceso de peróxido y material mineral disuelto; se

colocaron en probetas de 1,000 ml y se hicieron lecturas con hidrómetro al finalizar 40 segundos, 1 hora, 2 horas y 24 horas.

La Tabla 2 muestra un ejemplo del método que se sugiere emplear para la obtención de porcentajes y diámetros, mediante el procedimiento señalado, utilizando las fórmulas 1 y 2.

Además de los datos requeridos, para hacer una gráfica es necesario colocar en las ordenadas los porcentajes en escala uniforme y, en las abscisas, los diámetros en escala logarítmica.

Con los resultados obtenidos se elaboró la Tabla 3, que muestra los diámetros de las partículas y los porcentajes correspondientes a los diferentes tratamientos en función del tiempo, además del diagrama (Figura 3), cuyas curvas tienden a unirse en el cuarto superior derecho, con un coeficiente de variación de 2.73 para limos y arcillas, mientras que en la región de arcillas es de 13.86. El coeficiente de variación expresa el valor de la desviación estándar como un porcentaje de la media aritmética para la cual fue calculado. Para este caso particular, la dispersión en las cantidades de arcillas encontradas es cinco veces mayor que la de limos, lo que nos lleva a corroborar que debemos usar Calgón, oxalato de sodio o silicato de sodio como dispersantes, además de agitar toda la noche y eliminar la materia orgánica para lograr, en esa forma, la obtención de las cantidades reales de arcillas que forman parte de la masa del suelo.

Tomando en cuenta la experiencia descrita, se decidió hacer un último experimento de tipo comparativo, utilizando pipeta e hidrómetro para los tres suelos del segundo experimento. Los defloculantes empleados fueron: oxalato de sodio 1%, matasilicato de sodio 1% y Calgón 4%.

Se eliminó la materia orgánica de los suelos tamizados con mallas de 2 mm, mediante el tratamiento de agua oxigenada; se lavaron y secaron en la estufa a 110° C durante 24 horas y, haciendo cuatro repeticiones, se tomaron 50 gr de suelo con 53 ml de dispersante y 300 ml de agua destilada, se agitaron durante toda la noche y se colocaron en probetas aforando a 1000 ml; se hicieron lecturas con hidrómetro a los 40 segundos, 30 minutos, 60 minutos, 120 minutos y 24 horas. Al día siguiente se tomaron muestras con pipeta a los 40 segundos y a las 7 horas 44 minutos. La pipeta de 20 ml se introdujo a una profundidad de 10 cm.

Tabla 2.—Diámetros y porcentajes de la Muestra 1a.

Tiempo de reposo	Lectura del Hidrómetro	Diámetro (d) en micras	10 log d	Porcentaje
0.66	28	57.6	17.6	56.00
4	26	23.7	13.7	52.00
10	23	15.3	11.0	46.00
60	17	6.5	8.2	34.00
120	14	4.7	6.7	28.00
1440	7	1.4	1.5	14.00

$$d = 5.57 \frac{\sqrt{98.5 - R}}{t}$$

*d* = Diámetro de la partícula en micras

*R* = Lectura del hidrómetro

*t* = Tiempo en minutos

Tabla 3.—Diámetros y porcentajes de los diferentes tratamientos en función del tiempo.

Tratamiento		Tiempo						
		40"	4'	10'	60'	1440'		
1a	Diám.	57.6	23.7	15.3	6.5	4.7	1.4	
	%	56	52	46	34	28	14	
1b	Diám.	54.8	22.2	14.6	6.2	4.4	1.3	
	%	56	54	46	38	34	18	
1c	Diám.	56.0	24.0	16.0	6.6	4.7	1.4	
	%	52	36	26	16	12	6	
2a	Diám.	55.6	23.0	14.8	6.2	4.4	1.3	
	%	52	48	42	36	34	20	
2b	Diám.	55.4	22.8	14.5	6.3	4.3	1.3	
	%	54	50	48	40	36	32	
2c	Diám.	53.4	29.2	14.6	6.0	4.3	1.3	
	%	56	50	46	42	38	26	
2d	Diám.	56.2	23.0	14.7	6.2	4.4	1.3	
	%	50	48	46	38	36	22	
2d'	Diám.	55.0	23.0	14.7	6.2	4.4	1.3	
	%	54	48	46	40	36	24	

Diámetro en micras

Se hizo el análisis matemático, en la forma indicada en páginas anteriores, y los resultados para 50 micras o menos se muestran en la Tabla 4.

El coeficiente de variación (*Cv*), expresado como un porcentaje de la media, indica la dispersión de las cuatro repeticiones de cada tratamiento. En los suelos de Veracruz, la dispersión fue menor, si se compara con los suelos de Xochimilco y San Luis Potosí. El máximo valor, casi ocho veces mayor, se obtuvo cuando se usó metasilicato de sodio en el método de pipeta para los suelos de Xochimilco; las diferencias de las medias aritméticas (*D*), en la forma descrita anteriormente, indican que, para los limos, los métodos de pipeta e hidrómetro no muestran diferencias, mientras que en las arcillas, sí hay diferencia significativa en menor grado. Se obtuvie-

ron resultados semejantes para los suelos de San Luis Potosí y Xochimilco.

CONCLUSIONES

Se compararon las variaciones originadas por algunas de las técnicas conocidas en suelos de diferentes regiones del país, con el fin de obtener un método de análisis granulométrico simple, que permitiese lotificar las partículas minerales para conocer la textura del suelo que, junto con otras características físicas, sirviese de guía para distinguir a los tipos y series de suelos que forman la base de los mapas agrológicos, tan necesarios para mejorar la producción agrícola de una región y, para lograrlo, se hicieron variar las dosis de substancias defloculantes, las formas de agitación, la eliminación de

materia orgánica y la toma de muestras de suspensiones de suelos, utilizando en algunos casos la pipeta y en otros el hidrómetro.

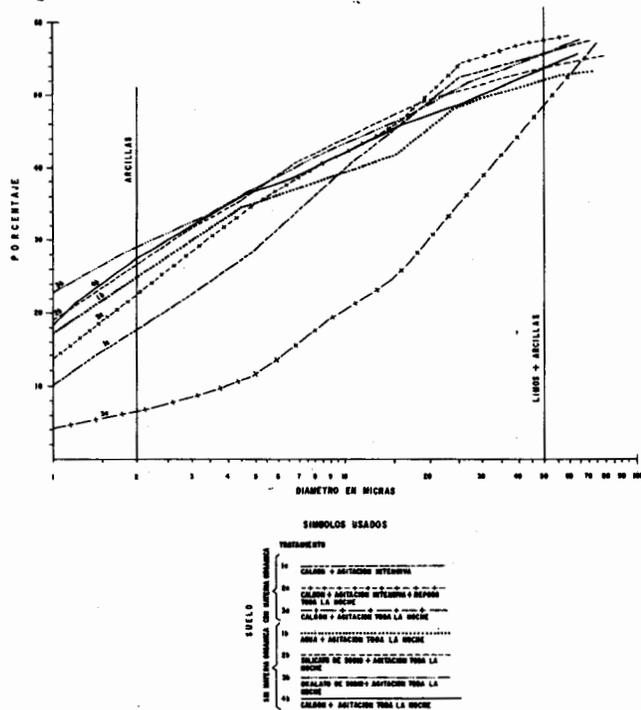


Figura 3.—Curvas que muestran la variabilidad en diámetros y porcentajes de partículas en un suelo con diferentes tratamientos.

Debido a la experiencia que se adquirió, sugerimos este nuevo método de hidrómetro:

Al suelo secado en la estufa a 110° C durante 24 horas, es necesario eliminarle la materia orgánica con agua oxigenada al 30% y las sales, sirviéndose de bujías de porcelana porosa y vacío; es necesario utilizar defloculantes tales como el Calgón, oxalato de sodio o silicato de sodio. Se agita la suspensión durante 12 horas, se agrega agua hasta 1000 ml en una probeta de esa capacidad y se toman lecturas con hidrómetro (*R*) en un tiempo (*t*), de manera tal que oscile entre 40 segundos y 24 horas, a fin de utilizar, con estos datos, las fórmulas siguientes:

$$P = \frac{R a}{W_o} 100 \text{ y } d = 5.57 \frac{\sqrt{98.5 - R}}{t}$$

En donde:

*P* = Porcentaje de partículas en la suspensión del suelo.

*a* = Constante que puede considerarse igual a 1.

*W<sub>o</sub>* = Peso en gramos de la muestra usada en el análisis.

*d* = Diámetros máximos y mínimos de las partículas que se sedimentan en micras.

*R* = Lectura del hidrómetro en gramos por litro de la suspensión del suelo.

*t* = Tiempo de reposo de la suspensión en minutos.

Tabla 4.—Comparación de dos métodos de análisis y diferentes defloculantes en tres suelos de diferentes regiones del país.

Partículas de 50 micras o menores							
XOCHIMILCO							
Dispersante	Método de análisis	X	X	C	D	D	D
X O C H I M I L C O							
Oxalato de sodio	hidrómetro	59.0	0.50	0.85	1.02	0.08	3.78
	pipeta	58.9	0.89	1.51			
Metasilicato de sodio	hidrómetro	59.8	0.48	0.80	2.01	-5.03	7.45
	pipeta	64.8	1.96	3.02			
Calgón	hidrómetro	52.9	0.24	0.45	0.43	0.605	1.61
	pipeta	52.3	0.36	0.68			
V E R A C R U Z							
Oxalato de sodio	hidrómetro	35.4	0.31	0.87	0.63	-6.92	2.34
	pipeta	42.3	0.55	1.30			
Metasilicato de sodio	hidrómetro	37.5	0.16	0.42	0.29	-2.99	1.09
	pipeta	40.5	0.25	0.61			
Calgón	hidrómetro	36.1	0.45	1.24	0.51	-3.08	1.90
	pipeta	39.1	0.25	0.64			
S A N L U I S P O T O S I							
Oxalato de sodio	hidrómetro	49.7	0.60	1.20	1.15	-1.62	4.26
	pipeta	51.4	0.98	1.90			
Metasilicato de sodio	hidrómetro	44.1	0.22	0.49	0.79	-6.96	2.94
	pipeta	51.1	0.76	1.48			
Calgón	hidrómetro	49.5	1.0	2.02	1.90	-2.62	7.05
	pipeta	52.2	1.62	3.10			

Con los datos obtenidos se elabora una gráfica, colocando en las ordenadas los porcentajes de partículas en escala uniforme y en las abscisas los logaritmos de los diámetros.

La gráfica resultante permite determinar porcentajes de arcillas, limos o cualquier otro lote, según la investigación que se esté realizando.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

American Society for Testing Materials, 1958, Part IV, Tentative method for grain — size analysis of soils: p. 1119-1129.

Bouyoucos, G. J., 1951, A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils: Agron. J., v. 43, p. 435-438.

Janison, V. C., y Kroth, E. M., 1958, Available moisture storage capacity in relation to texture, composition and organic matter content of several Missouri soils: Soil Sci. Soc. Am., Proc., v. 22, p. 189-191.

---