

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

Trabajo Final Grado para optar al
título de Ingeniera Agrónoma



**Evaluación de diferentes variantes del método Bouyoucos en la
determinación granulométrica de suelos**

Alumno: *Arce, María Julia*

DNI: 32.471.014

Director: Prof. Degioanni, Américo

Río Cuarto - Córdoba

Octubre de 2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Titulo del Trabajo Final:

Autor: Arce, María Julia

DNI: 32.471.014

Director: Prof. Degioanni, Américo

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la Comisión Evaluadora:

Ing.Agr. _____

Ing.Agr. _____

Ing.Agr.Degioanni, Americo_____

Fecha de Presentación: _____ / _____ / _____.

Aprobado por la Secretaría Académica: _____ / _____ / _____.

Secretario Académico

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Río Cuarto, Facultad de Agronomía y Veterinaria y a cada una de las personas que la conforman, desde académicos, estudiantes, personal, porque cada uno forma parte de un espacio que colaboró para formarme como profesional, pero fundamentalmente como persona, a descubrir que soy capaz de tomar decisiones y como tal hacerme cargo de ellas; que todo funciona porque cada uno formamos parte de “algo” y que ese “algo” lo hacemos entre todos.

Al profesor Américo Degioanni, porque sin el “Pocho” y sus apretones ocasionales no hubiese llegado hasta acá. Porque es un profesor que me enseñó en aquellos primeros años (en que uno ni sabe lo que está haciendo), que hay que esforzarse para lograrlo, un profesor que “elegí” porque a pesar de que sea el “bravo” en la facu, me hizo ver que “una materia menos” (como así decíamos) se lograba estudiando y cumpliendo, que no significaba eso, sino una herramienta para continuar con el resto.

A mi amiga Carlita, que fue mi empujón, inspiración, y fundamental compañía en este hermoso recorrido de *“La agronomía”*.

A mis padres, que me brindaron la posibilidad de hacerlo, que se esforzaron día a día por dejarnos seguir nuestros sueños y locuras. Por su afecto, apoyo, consejos, límites y sobre todo el amor que día a día dan, tanto a mí como a mis hermanas.

A ellas... mis hermanas Mica y Eva, mis pilares, mis oídos, mis pañuelos y lágrimas, mi felicidad.

A mis abuelos.... les pido perdón por la demora; me hubiese gustado verlos en mi graduación, pero se los dedico a ustedes, amor más puro que el de ustedes no va a existir, gracias por darme solo felicidad, espero haber dado al menos una partecita de lo que me dieron.

A mi familia entera, por ayudarme a ser lo que soy, a creer en el respeto y la voluntad.

A mi primer amiga de la vida, Roró... por su creatividad sin límites, su ayuda desinteresada y su eterna compañía.

A cada persona que conocí estos años de carrera, a los AMIGOS, gracias por compartir todo esto, nada hubiese sido igual sin ustedes.

Muchas Gracias!!!

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	7
SUMARY.....	8
INTRODUCCION.....	9
1. Granulometría y textura del suelo.....	9
2. Determinación de la Granulometría.....	11
3. Método densímetro Bouyoucos.....	12
4. Método Difracción con rayo láser.....	13
OBJETIVO GENERAL.....	14
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	14
MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
1. Suelo.....	15
2. Método Bouyoucos.....	15
2.1. Fundamento Físico.....	15
2.2 Procedimiento analítico.....	17
2.2.1 Procedimiento 1 (Jaramillo 2002).....	19
2.2.2 Procedimiento 2 (Flores Delgadi 2010).....	20
2.2.3 Procedimiento 3 (Guerrero 2004).....	21
2.2.4 Procedimiento 4 (Laboratorios de suelos FAUBA 2009).....	22
2.2.5 Procedimiento 5 (Método del hidrómetro modificado por Day-1965 y ASTM-1985, modificado por AgLab, basado en el propuesto por SAMLA 2004).....	24
RESULTADOS Y DISCUSION.....	26
CONCLUSIONES.....	29
BIGLIOGRAFIA.....	30
ANEXOS.....	34
1. Resultados por procedimiento y muestra.....	34
2. Detalle de procedimientos.....	35
- Procedimiento 1.....	35
- Procedimiento 2.....	37
- Procedimiento 3.....	40
- Procedimiento 4.....	43
- Procedimiento 5.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema general, Granulometría láser.....	13
Figura 2. Curva de distribución del tamaño de partículas.....	16
Figura 3. Método Bouyoucos. Explicación gráfica.....	18

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición granulométrica del horizonte A del Haplustol típico (Río Cuarto).....	15
Tabla 2. Composición granulométrica del horizonte A del Haplustol éntico (Olaeta).....	15
Tabla 3. Factor corrección por temperaturas.....	21
Tabla 4. Factores de corrección por temperaturas.....	23
Tabla 5. Porcentaje promedio, desvío, diferencia porcentual con respecto al valor de referencia y clase textural por procedimiento. Horizonte A, Haplustol típico.....	26
Tabla 6. Porcentaje promedio, desvío, diferencia porcentual con respecto al valor de referencia y clase textural por procedimiento. Horizonte A, Haplustol éntico.....	27

RESUMEN

La granulometría es una propiedad morfológica central en la caracterización estructural de un individuo suelo. La determinación más común de las clases granulométricas finas (limo – arcilla) se realiza mediante técnicas de sedimentación de partículas en un medio acuoso. El objetivo de este trabajo es evaluar diferentes variantes del método Bouyucos en la determinación granulométrica. El ensayo se realizó con muestras de horizonte A de dos suelos: Haplustol típico de textura franca y Haplustoléntico de textura franca - arenosa. Las variantes del método Bouyoucos fueron: cantidad de dispersante, peso de la muestra, separación de arenas y tiempos de lectura. Para el contraste de los datos medidos con esta técnica, se utilizó por un lado las mediciones efectuadas para las mismas muestras con un analizador de partículas por difracción por Rayo Láser y por otro, las clases texturales de las normas de reconocimientos de suelos argentinos. Los resultados obtenidos con las diferentes variantes analíticas ensayadas no aconsejan utilizar este método cuando se requieran valores granulométricos con exactitud pero puede ser utilizado por su sencillez y relativa rapidez para determinar la clase textural de los suelos.

SUMMARY

Granulometry is a central morphological property in the structural characterization of an individual soil. The most common determination of fine granulometric classes (limo - clay) is performed by means of sedimentation techniques of particles in an aqueous medium. The objective of this work is to evaluate different variants of the Bouyucos method in the granulometric determination. The test was carried out with samples of horizon A of two soils: typical Haplustol of free texture and Haplustol ethnic of frank - sandy texture. The variants of the Bouyucos method were: amount of dispersant, sample weight, sand separation and reading times. For the contrast of the data measured with this technique, the measurements made for the same samples with a laser beam diffraction particle analyzer and the textural classes of the Argentine soil survey standards were used on the one hand. The results obtained with the different analytical variants tested do not advise to use this method when exact values are required but can be used for its simplicity and relative speed to determine the textural class of the soils.

INTRODUCCIÓN

1 – Granulometría y textura del suelo.

El suelo es un sistema abierto y dinámico constituido por la fase sólida, líquida y gaseosa. En un suelo bien equilibrado la fase sólida (formada por las partículas minerales y la materia orgánica del suelo) ocupa aproximadamente el 50% y las fases gaseosa y/o líquida el restante 50%.

La fracción mineral del suelo, o fase sólida inorgánica, está constituida por un conjunto de partículas (de formas muy variables e irregulares) procedentes de la fragmentación y alteración de la roca madre y/o del aporte de materiales transportados por el agua o por el viento.

La mayoría de las clasificaciones de las partículas minerales del suelo consideran cuatro fracciones granulométricas: gravas, arenas, limos y arcillas. Las tres últimas integran la textura del suelo. A veces se utilizan como sinónimos granulometría y textura, pero cuando nos referimos a esta última o a las fracciones texturales incluimos solo hasta las partículas de hasta 2 mm de diámetro como máximo. En este sentido las gravas serían una fracción granulométrica, pero no se incorporan en las clases texturales.

Por lo que la granulometría del suelo se define como la proporción relativa de las distintas partículas minerales individuales, menores a 2 mm de diámetro, agrupadas por clases de tamaños en fracciones granulométricas: arena, limo y arcilla. Es decir, es un componente de la fase sólida inorgánica del suelo, cuya determinación consiste en cuantificar las cantidades relativas de cada fracción granulométrica de una muestra de suelo previamente desagregada y tamizada por un tamiz de 2 mm de diámetro.

La fracción arena son tamaños mayores de 50 micras, son por lo general casi siempre fragmentos de roca, sobre todo de cuarzo, existiendo además cantidades variables de otros minerales primarios. La composición mineralógica de estas fracciones varía para los distintos suelos según la roca madre y el grado de mineralización.

Con respecto a la fracción arcilla, partículas de tamaño menor o igual a 2 micras y cuya propiedad central es su comportamiento coloidal, se compone de variados minerales secundarios dependiendo de la génesis del suelo pero que en general se pueden agrupar en arcillas silicatadas y no silicatadas. Entre las primeras se incluye: caolinita, montmorillonita, illita, vermiculita y alofano, con variantes en sus propiedades tales como estructura molecular, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y su incidencia en la estructura, consistencia y en el agua del suelo entre otras propiedades. Las arcillas no silicatadas incluyen óxidos e hidróxidos de hierro y óxidos e hidróxidos de aluminio entre las más importantes. Por último, la fracción limo está constituida por partículas entre 2 y 50 micras y son materiales heredados o transformados pero que en teoría no tienen carácter coloidal aunque se le reconoce una alta actividad de superficie en la solubilización de elementos minerales simples.

Las partículas que conforman la fase sólida mineral de los suelos se clasifican en varios grupos de tamaños, tomando como base su “diámetro equivalente”. El diámetro equivalente para las partículas mayores (las cuales son separadas por una criba determinada) es el diámetro de la mayor esfera que puede pasar por dicha criba. En cambio, para las partículas pequeñas (las cuales son separadas por sedimentación) el diámetro equivalente es el diámetro de una esfera que tiene la misma densidad y velocidad de deposición en un medio líquido (Bacer, 1991; Jury, 1991). Según la CPHA (2004), se emplean dos sistemas de clasificación para los diferentes tamaños de partículas del suelo. Uno de ellos es el *Sistema americano* que utiliza el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y el otro es el *Sistema internacional* adoptada por la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo (Porta Casanellas, 1999) tal como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1: Sistemas de clasificación del tamaño de partículas de tierra fina

Sistema de Clasificación Granulométrica	Fracciones	Diámetros equivalente (μ)
USDA	Arena muy gruesa	$1000 < \phi < 2000$
	Arena gruesa	$500 < \phi < 1000$
	Arena media	$250 < \phi < 500$
	Arena fina	$100 < \phi < 250$
	Arena muy fina	$50 < \phi < 100$
	Limo	$2 < \phi < 50$
	Arcilla	$\phi < 2$
Internacional	Arena gruesa	$200 < \phi < 2000$
	Arena fina	$20 < \phi < 200$
	Limo	$2 < \phi < 20$
	Arcilla	$\phi < 2$

La granulometría es una información básica en la caracterización de cualquier individuo suelo y constituye un análisis de rutina en la cartografía de suelos. A partir de la granulometría, se pueden deducir un conjunto de propiedades del individuo suelo. Una de las propiedades que se deduce directamente es la textura. La **textura** se refiere a las proporciones porcentuales de las agrupaciones por tamaño de partículas individuales en la masa del suelo. Se refiere específicamente a los porcentajes de arcilla, limo y arena menores a 2 mm de diámetro. Las **Clases Texturales** están definidas sobre la base de las distintas combinaciones de arena, limo y arcilla y son 12 en total (Etchevehere, 1976):

1. Arenosa: contienen 85 % o más de arena. El porcentaje de limo más 1,5 veces el porcentaje de arcilla no debe ser mayor del 15%.

2. Areno-franca: contienen entre el 70 y 85% de arena. El porcentaje de limo más 1,5 veces el porcentaje de arcilla no debe ser mayor del 30% si la arena es del 70% y no debe ser menor del 15% si la arena es del 85%.
3. Franco-arenosa: contienen entre el 15 y 20 % de arcilla y el 50 y 70% de arena. Variantes de esta clase son: Franco arenoso grueso, Franco arenoso, Franco arenoso fino, Franco arenoso muy fino.
4. Franca: contienen del 7 al 27 % de arcilla, del 28 al 50 % de limo y menos del 12 % de arena.
5. Franca limosa: contienen el 50 % o más de limo y el 12 al 27 % de arcilla. Pueden contener también entre el 50 al 80 % de limo y menos del 12 % de arcilla.
6. Limosa: 80 % o más de limo y menos del 12 % de arcilla.
7. Franca-arcillo-arenosa: contienen entre el 20 al 35 % de arcilla, menos del 28 % de limo y el 45 % o más de arena.
8. Franca arcillosa: contiene 27 al 40 % de arcilla y del 20 al 45 % de arenas.
9. Franca-arcillo-limosa: contienen entre el 27 al 40 % de arcilla y menos del 20 % de arenas.
10. Arcillo-arenosa: contiene el 35 % o más de arcilla y 45 % o más de arenas.
11. Arcillo-limosa: contiene el 40 % o más de arcilla y 40 % o más de limo.
12. Arcillosa: contienen el 40 % o más de arcilla, menos del 45 % de arenas y menos del 40% de limo.

Conocer la distribución de las fracciones granulométricas es importante para el manejo de suelo, ya que estas influyen sobre la oportunidad de laboreo (consistencia), dinámica del agua, aireación y dinámica de nutrientes entre otras. Chakraborty (2006) sostiene que el análisis granulométrico es una práctica usual en determinaciones físicas del suelo, frecuentemente utilizada en clasificación textural. Por otra parte las proporción de arena, limo y arcilla sirven para estimar las propiedades hidráulicas y es fundamental para la identificación y clasificación del suelo (Tomasella *et al.*, 2000; Silva *et al.*, 2008).

2 – Determinación de la granulometría.

Existe una amplia gama de métodos que permiten determinar la granulometría, los cuales se clasifican por la forma que se llevan a cabo. Entre ellos los métodos son: determinación al tacto, tamizado (en seco y en húmedo), sedimentación (hidrómetro, pipeta, sensor de presión), por rayos x y difracción de rayos láser (Gee y Or, 2002).

Los resultados del análisis dependen del método de determinación (Gee y Bauder, 1986; Gee y Or, 2002). De ahí la importancia de indicar que análisis se llevo a cabo y que pre-tratamiento se realizó (Medina González *et al.* 2007; García Coronado *et al.* 2007; Núñez Acosta *et al.* 2007).

La determinación analítica tradicional de la granulometría se fundamenta en técnicas de separación mediante tamizados y en técnicas de sedimentación de partículas en un medio líquido tal como el método de Bouyoucos y el método de la pipeta. Ambos métodos son considerados procedimientos estándar para la determinación de la distribución de tamaño de partículas de la fracción fina del suelo (< 2 mm) (Day, 1965a); Gee y Bauder, 1986, Gee y Or, 2002).

3 – Método densímetro de Bouyoucos

El método Bouyoucos consiste en dejar sedimentar una muestra de suelo en un medio líquido durante un determinado tiempo, al cabo del cual se cuantifica la cantidad de partículas de un determinado tamaño que hay en suspensión y no requiere pre-tratamientos. La medida de las partículas en suspensión se hace directamente en el líquido, por medio de un hidrómetro o densímetro. Las partículas suspendidas en el agua se asientan diferencialmente dependiendo de la superficie por unidad de volumen. Como las partículas de arcilla tienen una gran área superficial por unidad de volumen - elevada superficie específica, sedimentan muy lentamente, mientras que las partículas de mayor tamaño sedimentan rápidamente debido a su menor superficie específica. De esta forma en la medida que las partículas van sedimentando, la densidad de la solución va disminuyendo, esto de acuerdo a la ley de Stokes, la cual relaciona la velocidad de sedimentación de las partículas de acuerdo a su tamaño a través de un líquido de densidad conocida. Bouyoucos (1962) determinó que las partículas mayores de 50 μm (arenas) sedimentan en los primeros 40 segundos, de tal manera que después de ese tiempo no tienen influencia en la densidad de la suspensión. A las 2 horas sedimentan las partículas mayores de 2 μm (limos), por lo tanto sólo permanecerán en suspensión las arcillas. Es importante recordar que al emplear este método se deben hacer correcciones ya que la densidad de la suspensión se ve afectada por las variaciones de temperatura y por la presencia de dispersantes en el suelo (Melendez Cuero *et al.* 2015; Mendoza *et al.* 2015; Mendoza Ramirez *et al.* 2015; Paredes *et al.* 2015; Uribe Rodriguez *et al.* 2015).

Se trata de una técnica rápida, ya que las muestras no necesitan pre-tratamientos complejos. En efecto, tiene una dispersión química y una dispersión física mediante agitación mecánica. Una vez realizada la dispersión, y obtenida la individualización de partículas, se procede a disponer la suspensión en un recipiente estandarizado colocando un densímetro o hidrómetro a tiempos preestablecidos. Los resultados de este método son adecuados, siempre que los suelos no sean ni orgánicos, ni calizos, ni salinos, es decir no sean ricos en coloides no texturales, ni en elementos floculantes, que no se eliminan en este método. Si hay mucha materia orgánica o alto contenido de carbonato de calcio, pueden aparecer los pseudo-limo y pseudo-arenas o en el caso de alto contenido en sales floculan los coloides (Jaramillo 2002).

4 – Método Difracción con Rayo Láser

Una técnica más moderna es la determinación de partículas mediante difracción con rayo láser.

Es una técnica que ha alcanzado un gran protagonismo, ya que es capaz de proporcionar resultados con rapidez, precisión y reproducibilidad, por lo que en el momento presente se sitúa como un método alternativo a los ya existentes.

La técnica realiza la lectura en forma automática de la distribución de tamaño de partículas, en un rango de 0,04 hasta 2000 μm para determinaciones de partículas de sedimentos menores que 2 mm. Su fundamento consiste en medir el tamaño de las partículas por difracción del haz de luz láser (Morales de la Garza, 2002). Al hacer pasar un rayo laser monocromático expandido a través de una muestra pulverizada, en seco o en suspensión en un líquido no reactivo, la luz se difracta y se produce una figura de difracción de simetría radial en el plano focal de la lente (Figura 1)

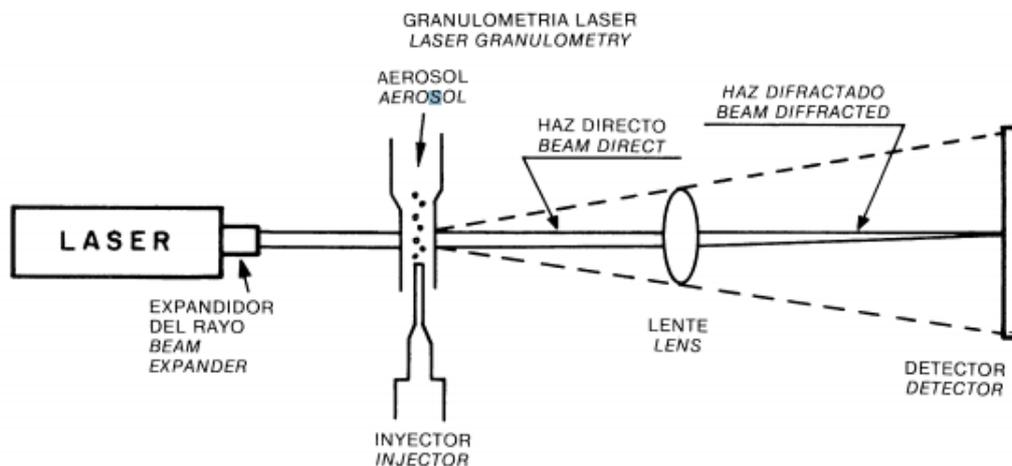


Figura 1. Esquema general, Granulometría láser.

La espectrometría de difracción por rayos laser permite el análisis granulométrico de materiales tanto en vía húmeda como en seca, con la gran ventaja que supone el disponer de ambos sistemas de alimentación.

La elección del método para determinar la granulometría de los suelos depende de los objetivos particulares del investigador o técnico. Cuando se desea hacer una deducción aproximada de las propiedades generales del suelo y orientar prácticas de manejo tales como labranza, riego y fertilización un método aceptable es el del hidrómetro de Bouyucos. Este método también se puede utilizar para clasificar suelos, evaluar y valorar tierras, así como para determinar su capacidad de uso. Sin embargo, cuando el análisis está enfocado en los diferentes procesos edafogénicos que se han realizado en un suelo, el método de análisis granulométrico recomendado es el de pipeta, el cual es más laborioso pero más exacto, así como también el método de difracción de rayos X resulta propicio para estos análisis.

En este trabajo se propone realizar determinaciones por el método del densímetro de Bouyoucos con variantes operativas, con el objetivo de definir que procedimientos es más parecido a valores de referencia medidos mediante difracción láser.

Objetivo General:

Evaluar diferentes variantes del método Bouyoucos en la determinación granulométrica.

Objetivos Específicos:

- Determinar la granulometría de horizontes A con diferentes variantes del método.
- Comparar los resultados obtenidos con valores de referencia de granulometría y textura.

MATERIALES Y MÉTODOS

1- Suelo

Para la realización de este trabajo se utilizaron muestras de horizontes A de dos suelos, localizados en las llanuras bien drenadas del departamento Río Cuarto: uno próximo a la localidad de Olaeta y otro en Río Cuarto. En Olaeta el suelo es un Haplustol éntico de textura franco arenosa, mientras que en Río Cuarto es clasificado como Haplustol típico de textura franca. Muestras de ambos horizontes fueron preparadas en el Laboratorio de Suelos de la FAV para la determinación de partículas por difracción láser, los valores obtenidos por éste método fueron tomados como valores de referencia. En las Tablas 1 y 2 se presentan datos obtenidos para el Horizonte A del Haplustol típico y Haplustol éntico respectivamente. Se indica la clase textural según las Normas de Reconocimiento de Suelos de Argentina (Etchevehere, 1976).

Tabla 1: Composición granulométrica del horizonte A del Haplustol típico (Río Cuarto)

	% ARCILLA	% LIMO	% ARENA¹
	13,9	37,7	48,4
	14,3	34,8	51
	15,1	43,0	41,8
	15,7	43	40
Media	14,75%	45,3%	39,63%
Desvío Estándar	0,8%	5,2%	4,1%

¹Determinada por diferencia

Clase textural: Franca

Tabla 2: Composición granulométrica del horizonte A del Haplustol éntico (Olaeta).

% ARCILLA	% LIMO	% ARENA¹
8,6	23,5	67,9

¹Determinada por diferencia

Clase textural: Franca arenosa

2 - Método Bouyoucos.

2.1 – Fundamento físico: el método tal como se adelantó previamente, determina los porcentajes de tamaño de partículas en un medio líquido de acuerdo con el tamaño/peso de las mismas. El fundamento físico del método es 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, según la siguiente relación:

$$V = \frac{2(D_r - \delta_w) g r^2}{9\eta}$$

Donde:

V: Velocidad de caída: cm s^{-1}

D_r : Densidad de partículas: g cm^{-3}

δ_w : Densidad del líquido (agua en este caso): g cm^{-3}

g: Aceleración de la gravedad: cm s^{-2}

r: Radio de la partícula: cm.

η : Viscosidad del líquido: $\text{g cm}^{-1} \text{s}^{-1}$

El máximo diámetro de partícula que puede ser usado para que cumpla el postulado de la Ley de Stokes es alrededor de 50 μm .

Las lecturas con el hidrómetro o densímetro corresponden a la cantidad de material sólido que se encuentra en suspensión, a la altura del centro de volumen del hidrómetro, en g L^{-1} , es decir, mide una densidad. Como la temperatura afecta la densidad, el hidrómetro ha sido calibrado previamente para trabajar a temperatura de 19.4 °C (67 °F). Cuando esta condición de temperatura no se cumple, hay que corregir la lectura y esto depende de diferentes variantes procedimentales.

En el método del hidrómetro las lecturas del mismo permiten calcular el diámetro medio de las partículas y el porcentaje de las mismas. Con estos valores se construye la curva de tamaños de partículas para su posterior fraccionamiento en clases, tal como se presenta en el ejemplo de la Figura 2.

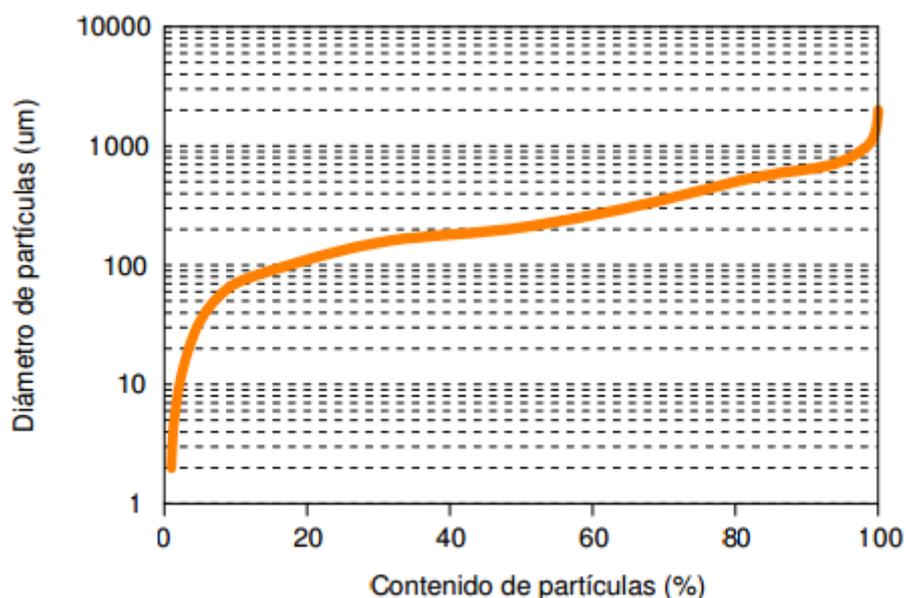


Figura 2. Curva de distribución de tamaños de partículas

Para que los postulados de Ley de Stock se puedan comprobar experimentalmente deben cumplirse las siguientes condiciones:

- Que la dispersión de las partículas del suelo durante todo el tiempo que dure el proceso de sedimentación debe ser total, es decir, que no ocurra ninguna floculación durante la determinación.
- Que todo el proceso de sedimentación se lleve a cabo a temperatura constante.
- Que la concentración de la suspensión sea lo suficientemente diluida, de modo que no afecte significativamente la viscosidad del medio al movimiento descendente de las partículas.
- Que 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 los siguientes supuestos:

- Las partículas del suelo son esféricas y presentan igual densidad.
- Se asume una densidad de partículas igual a $2,65 \text{ g cm}^{-3}$
- Las partículas sedimentan en caída libre.
- No presentan procesos de turbulencia durante la suspensión.
- Todas las partículas que están sedimentando, tienen tamaños mayores al tamaño de las moléculas de agua.

El hidrómetro estandarizado para este análisis es el ASTM-152H (Forsythe, 1975) y las condiciones analíticas para las cuales fue calibrado son:

- Temperatura de $19.44 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Densidad de partículas de 2.65 g cm^{-3} .
- El medio de suspensión es agua pura, por lo cual $\delta w = 1 \text{ g cm}^{-3}$ y $h = 0.01 \text{ g cm}^{-1} \text{ s}^{-1}$.

Cuando se utilizan otros hidrómetros y/u otras condiciones de trabajo, diferentes a las expuestas, se deben hacer las respectivas correcciones. Para ampliar en este sentido, pueden consultarse algunos textos como Baver *et al* (1973), Forsythe (1980) y Montenegro y Malagón (1990) y Jaramillo (2002)

2.2 –Procedimiento analítico: Para realizar las determinaciones de arena, arcilla y limo, se ensayaron diferentes variantes encontradas en la bibliografía. Se utilizaron variantes en la cantidad de dispersante, cantidad de muestra, en la separación de arenas, en los tiempos de agitación y de lectura. En total se utilizaron cinco procedimientos analíticos, con tres repeticiones de medida cada uno.

La dispersión química de la muestra se realiza utilizando hexametáfosfato de sodio, conocido como metafosfato de sodio. La función del hexametáfosfato de sodio es acomplejar el Ca en solución y reemplazarlo por el sodio en el complejo de intercambio, dando como resultado la dispersión de las partículas y provocando el rompimiento de los agregados (Gee y Bauder, 1986). La dispersión física por agitación mecánica utilizada en conjunto con el tratamiento químico mejora la dispersión de la muestra.

Los materiales de laboratorio requeridos para realizar los distintos procedimientos analíticos son: hidrómetro Bouyoucos calibrado 0-60 g/L, probetas de 100 y 1000 ml, vasos de precipitados de 600 ml, solución dispersante o Calgón (Hexametáfosfato de Sodio 1N), Alcohol amílico, tamiz de 53μ , émbolo para agitación, batidora, termómetros y piseta. A continuación se detalla cada una de los procedimientos metodológicos utilizados en este trabajo.

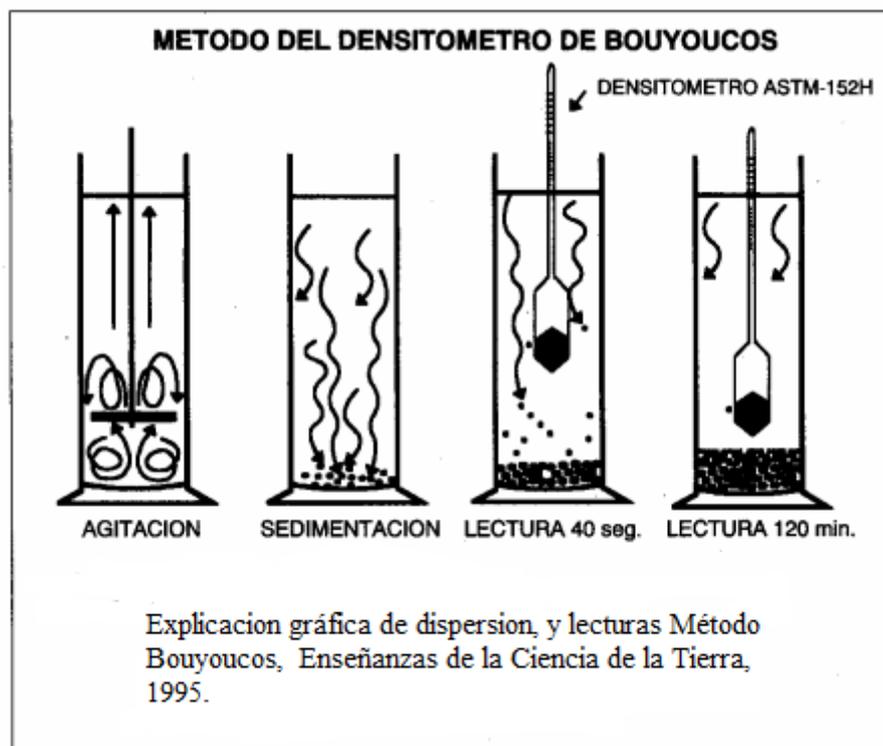


Figura 3. Método Bouyoucos, explicación gráfica, Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 1995.

(3.1), 34-39 _ I.S.S.N.: 1132-9157

Aunque la determinación de la textura del suelo por el método de Bouyoucos es recomendada para los análisis de rutina, tiene algunas limitaciones en su aplicación, para ciertos casos especiales, como son : no permite establecer la curva granulométrica de los suelos, la dispersión de ciertos suelos, como los Andisoles y algunos Oxisoles, no se obtiene con el método estandarizado, por lo cual, los resultados del análisis no son válidos; sucede lo mismo con suelos que presentan altos contenidos de materia orgánica; para obtener la dispersión en estos suelos se requiere de un pre-tratamiento especial de la muestra, con esto último, Day (1965), Gee y Bauder (1986), señalaron que, si el suelo tiene un bajo

contenido de materia orgánica (por su efecto floculante) y se encuentra libre de sales solubles y de yeso, el método de Bouyoucos tiene un bajo error comparado con otros métodos de rutina de laboratorio para análisis de textura.

2.2.1 PROCEDIMIENTO 1: Jaramillo (2002)

Para determinar las fracciones granulométricas en suelos que tengan menos del 5% de materia orgánica (< 5%), se propone el siguiente procedimiento:

- Se pesan 50 g de suelo, cernido por tamiz de 2 mm y seco al aire, siempre que no se detecte que áspero al tacto, caso en el cual se pesan 100 g de suelo.
- Se coloca la muestra en el vaso de una batidora especialmente diseñada para no moler el suelo, se añaden 10 a 20 ml de dispersante y se bate durante 10 minutos.
- Se transfiere la suspensión anterior a un cilindro graduado de 1000 ml. Se lava el vaso con agua destilada y se completa el volumen del cilindro.
- Se agita la suspensión unas 10 veces, vigorosamente, con un émbolo de caucho y se deja reposar, tomando registro del tiempo a partir del momento en que se retire el émbolo. A los 40 s de reposo se hace la primera lectura con el hidrómetro apuntando, además, la temperatura de la suspensión. Con esta lectura se calcula el contenido de arena (A%) con la Fórmula [1]. Al terminar la lectura de los 40 s, se retira el hidrómetro y se deja en reposo la suspensión hasta completar 2 horas. Al cabo de éstas, se introduce nuevamente el hidrómetro y se hace otra lectura; se toma también la temperatura. Cuando la condición de temperatura no cumple la temperatura estándar, hay que corregir la lectura sumando o restando 0,2 unidades, por cada grado centígrado de temperatura que se registra, por encima o por debajo de la temperatura de calibración respectivamente. Con esta lectura se calcula el contenido de arcilla (Ar%), utilizando la Fórmula [2]. A continuación, se calcula el contenido de limo (L%) con la Fórmula [3].

Fórmula 1:

$$A\% = 100 - \left[\frac{\text{Lectura corregida a los } 40^{\circ} \times 100}{\text{Peso Muestra}} \right]$$

Fórmula 2:

$$Ar\% = \frac{\text{Lectura corregida a las } 2hs}{\text{Peso Muestra}} \times 100$$

Fórmula 3:

$$L\% = 100 - A\% - Ar\%$$

2.2.2 PROCEDIMIENTO 2: Flores Delgadi (2010)

- Se pesan 50 g de suelo, cernido con tamiz de 2mm y seco al aire, siempre que no este arenoso, caso en el cual se pesan 100g.
- Aforar un vaso de precipitado con agua destilada hasta la mitad (aproximadamente 200 ml) y se le vierte la cantidad de suelo.
- Agregar 15 ml de solución de hexametáfosfato de sodio al 1 N.
- Se agita la muestra durante 15 minutos
- Se transfiriere la suspensión a una probeta graduada de 1 L de capacidad, se lava el vaso de precipitado y se completa el volumen de la probeta (aforar a los 1000 ml.).
- Se agita la suspensión con un embolo y se deja reposar tomando el tiempo a partir de que se retira el embolo.
- A los 40 segundos se hace la primera lectura con el hidrómetro en el menisco superior, así como también se mide la temperatura. Con esta lectura se calcula el contenido de arena (A%) con la Fórmula [4].
- Después de dos horas se vuelve a realizar el paso anterior. Con esta lectura se calcula el contenido de arcilla (Ar%), utilizando la Fórmula [5]. A continuación, se calcula el contenido de limo (L%) con la Fórmula [6]. Las lecturas del hidrómetro se corrigen con la temperatura adicionando 0,2 unidades a la lectura del hidrómetro por cada grado por encima de 19,44 °C o restando 0,2 unidades a la lectura del hidrómetro por cada grado por debajo de 19,44°C.

Análisis de datos:

$$A = \text{Lectura del hidrómetro} + \text{temperatura corregida} *$$

$$B = \text{Lectura del blanco} - \text{temperatura corregida} *$$

- **Lectura a los 40 segundos**

Fórmula 4

$$\% \text{arena} = 100 - \%(\text{limo} + \text{arcilla})$$

$$\% \text{limo} + \% \text{arcilla} = ((A - B) \div \text{peso de la muestra de suelo}) \times 100$$

- **Lectura a las 2 horas**

Fórmula 5

$$\% \text{arcilla} = ((A - B) \div \text{peso muestra de suelo}) \times 100$$

Fórmula 6

$$\% \text{ limo} = 100 - \% \text{ arena} - \% \text{ arcilla}$$

2.2.3 PROCEDIMIENTO 3: Guerrero (2004).

- Pesar y transferir a un vaso de precipitado 40 gramos de suelo seco, y tamizado con 2mm.
- Agregar 100ml de agua destilada y 10ml al agente dispersante.
- Dejar reposar durante 5 minutos y luego agitar durante 5 minutos en la licuadora.
- Después de agitar, se vierte todo el contenido en una probeta de 1000cc, cuidando de no perder material de suelo, luego completar a volumen con el hidrómetro adentro.
- Una vez enraizado, se agita la suspensión con el embolo, unas 10 veces para lograr homogeneidad en la suspensión. Si se produce espuma, que impida leer en el hidrómetro, se agrega 5 gotas de alcohol amílico. A cada lectura, efectuada se debe tomar, la temperatura de la suspensión, con el fin de obtener, el factor de corrección, el cual se obtiene a partir de una tabla (ver Tabla 3)

Tabla 3. Factor de corrección por temperaturas
(Hidrómetro 152 H)

Temperatura °C	Factor de conversión
14	-1,46
16	-0,98
18	-0,44
19.44	0
20	0,18
22	0,89
24	1,61
26	2,41
28	4,2

- Las lecturas deben efectuarse a los 40 segundos con lo que se obtendrá el %arena mediante la Fórmula [7] y a las 2 horas la segunda lectura con la que se obtendrá el %arcilla y %limo mediante la Fórmula [8] y [9] respectivamente.

Análisis de datos:

- Se promedian los factores de conversión de temperatura (blanco + la lectura correspondiente)

- Promedio del factor de conversión a los 40'': $(FC_{\text{blanco}} + FC_{40''})/2$
- Promedio del factor de conversión a las 2h: $(FC_{\text{blanco}} + FC_{2h})/2$

Se calculan las lecturas corregidas por temperatura (a los 40'' y 2h) sumando el promedio del factor de corrección y la densidad de la muestra obtenida con el densímetro.

- **Lectura a los 40 segundos**

Fórmula 7

$$\% \text{ Arena} = 100 - \left[\frac{\text{Lec. Corr. Por Temp. 40''}}{\text{Pes. de la muestra}} \right] \times 100$$

- **Lectura a las 2 horas**

Fórmula 8

$$\% \text{ Arcilla} = \left[\frac{\text{Lec. Corr. Por Temp. 2 horas}}{\text{Pes. de la muestra}} \right] \times 100$$

Fórmula 9

$$\% \text{ Limo} = 100 - (\text{Porcentaje de Arena} + \text{Porcentaje de Arcilla})$$

2.2.4 PROCEDIMIENTO 4: Laboratorio de Suelos, FAUBA (2009).

Pesar 50,3 gr de suelo seco.

- Agregar 100 ml de Calgón por muestra.
- Dejar las muestras en reposo por el término de 18 hs
- Trasvasar el material de cada vaso de precipitado a los vasos de acero y agitar de 3 a 5 minutos dependiendo de cada suelo. (p.e. texturas arenosas 3 minutos, texturas limo – arcillosas 5 minutos).
- Enjuagar cada paleta recibiendo el resto de cada muestra en el mismo vaso
- Trasvasar el material de cada vaso a las probetas, enrasar con agua corriente a 1 L y si tiene mucha espuma agregar unas gotas de alcohol amílico.
- Preparar el blanco, con 100 ml de Calgón y agua, enrasar a 1 L.
- Colocar el termómetro para medir la temperatura del blanco y así obtener el factor de corrección por temperatura (FCT) (Tabla 4)

Tabla 4: Factores de corrección por temperaturas.

Temperatura °C	Factor de conversión
10	-2,4
11	-2,2
12	-2,0
13	-1,8
14	-1,6
15	-1,4
16	-1,1
16,5	-1,0
17	-0,8
17,5	-0,7
18	-0,5
18,5	-0,4
19	-0,2
19,5	-0,1
20	0
20,5	+0,2
21	+0,4
21,5	+0,5
22	+0,7
22,5	+0,9
23	+1,1
23,5	+1,3
24	+1,5
24,5	+1,7
	+1,9
25,5	+2,1
26	+2,3
26,5	+2,5
27	+2,7
27,5	+3,0
28	+3,2
28,5	+3,4
29	+3,6

Para cada muestra (incluido el blanco):

- Homogeneizar con varilla manual, retirar y colocar el densímetro con un movimiento giratorio para evitar se peguen los restos de materia orgánica que están en la superficie de la probeta, a los 40 segundos realizar y registrar la primera lectura, con la que se obtendrá, mediante la Fórmula [10] el % de arena.
- Dejar reposar 2 horas y realizar la segunda lectura ídem a la anterior, utilizar las Fórmulas [11] y [12] para obtener el % arcilla y % limo respectivamente.

Análisis de datos:

Las lecturas se corregirán por temperatura y por lectura del Calgón (blanco)

$$1^{\circ}lecturacorregida = Lectura\ 40'' - (Lectura\ del\ blanco + FCT40'')$$

$$2^{\circ}lecturacorregida = Lectura\ 2h - (Lectura\ del\ blanco + FCT2h)$$

Con estos valores aplicamos las fórmulas para calcular los porcentajes de arena, limo y arcilla.

Fórmula 10

$$\% Arena = 100 - 1^{\circ}lecturacorregida \times 2$$

Fórmula 11

$$\% Arcilla = 2^{\circ}lecturacorregida \times 2$$

Fórmula 12

$$\% Limo = 100 - (\% Arena + \% Arcilla)$$

2.2.5 PROCEDIMIENTO 5: (Método del hidrómetro modificado por Day - 1965 y ASTM - 1985)- Modificado por AgLab, basado en el propuesto por el SAMLA, 2004).

-Calibración del hidrómetro

- Poner 100 mL de solución de H.M.F. de Sodio en probetas de 1 litro y llevar a volumen con agua destilada. Esperar que tome temperatura ambiente.
- Mezclar con agitador y medir temperatura.
- Introducir el hidrómetro en la solución y registrar la lectura - RL - (Blanco).

-Dispersión del suelo

- Pesar 50 g de suelo seco en un vaso de precipitados de 600 mL y adicionar 250 mL de agua destilada y 100 mL de solución de H.M.F. de sodio. Dejar la muestra toda la noche para que se embeba. La mayoría de los suelos pueden ser secados al aire o en estufa.
- Transferir cuantitativamente la suspensión de suelo a la copa del dispersor llevando el volumen de la suspensión a 1000 ml, ayudándose con varilla de vidrio o con espátula, para mezclar luego durante dos minutos con agitador eléctrico.
- Trasvasar cuantitativamente la suspensión dispersa a la probeta.

-Mediciones hidrométricas

- Introducir el hidrómetro y tomar lecturas a los 30 segundos. Registrar el dato.
Sacar hidrómetro, lavarlo y secarlo.
- Tomar la segunda lectura a las 2 horas, temperatura. También repetir la operación con el blanco.
- Cada vez se debe registrar R (lectura), lectura del blanco (RL) y la temperatura.

Análisis de datos:

Formula 13

$$C(\%) = \frac{R + (0.36 \times (20 - T)) - RL + (0.36 \times (20 - T))}{\text{Pesodelamuestra}} \times 100$$

C (%): porcentaje de la suspensión a una dada lectura.

R: lectura del hidrómetro en cada momento escogido.

RL: lectura del blanco.

T : temperatura.

0.36: factor (divisiones del hidrómetro)

Efectuar los cálculos correspondientes para obtener el % de limo+arcilla (lectura a los 30 segundos) + el % de arcilla (lectura a las 2 horas); luego por diferencia calcular el porcentaje de limo y arena.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan a continuación los resultados obtenidos por muestra y procedimiento para cada suelo.

Tabla5. Porcentaje promedio, desvío, diferencia porcentual con respecto al valor de referencia y clase textural por procedimiento. Horizonte A, Haplustol típico

		ARENA	ARCILLA	LIMO	CLASE TEXTURAL
		%	%	%	
PROCEDIMIENTO 1	Media	32,29	12,57	55,13	Franca limosa
	Desvío	4,11	0,42	4,47	
<i>Diferencia porcentual</i>		-18,5	-14,7	+21,6	
PROCEDIMIENTO 2	Media	45,06	17,53	37,4	Franca
	Desvío	12,81	25,02	14,53	
<i>Diferencia porcentual</i>		+13,7	+18,84	-17,43	
PROCEDIMIENTO 3	Media	54,9	15,48	29,6	Franca arenosa
	Desvío	1,72	2,58	4,05	
<i>Diferencia porcentual</i>		+38,53%	+4,94%	-34,65%	
PROCEDIMIENTO 4	Media	36	18	46	Franca
	Desvío	4,23	2,77	1,60	
<i>Diferencia porcentual</i>		-9,15	+22,03	+1,54	
PROCEDIMIENTO 5	Media	59,66	14,56	25,76	Franca arenosa
	Desvío	13,65	11,00	2,27	
<i>Diferencia porcentual</i>		+50,54%	-1,28%	-43,13%	

Para el horizonte A del Haplustol típico, los dos procedimientos analíticos que son aceptables para este horizonte pues mantienen la misma clase textural son el **2** y el **4**. En cuanto a la granulometría, el procedimiento 2 posee una diferencia porcentual absoluta promedio con respecto a la muestra testigo del 16,5 % mientras que el procedimiento 4 es del 10,8 % y con menor variabilidad de los datos obtenidos.

Tabla 6. Porcentaje promedio, desvío, diferencia porcentual con respecto al valor de referencia y clase textural por procedimiento. Horizonte A, Haplustol éntico

		ARENA	ARCILLA	LIMO	CLASE TEXTURAL
		%	%	%	
PROCEDIMIENTO 1	Media	59,82	3,04	37,13	Franca arenosa
	Desvío	8,67	2,43	6,31	
<i>Diferencia porcentual</i>		<i>-11,89</i>	<i>-64,65</i>	<i>+58</i>	
PROCEDIMIENTO 3	Media	71,785	6,07	22,05	Franca arenosa
	Desvío*	-	-	-	
<i>Diferencia porcentual</i>		<i>+5,72</i>	<i>-29,41</i>	<i>-6,17</i>	
PROCEDIMIENTO 4	Media	60,73	14,73	24,2	Franca arenosa
	Desvío	8,66	8,60	17,73	
<i>Diferencia porcentual</i>		<i>-10,55</i>	<i>+71,27</i>	<i>+2,97</i>	
PROCEDIMIENTO 5	Media	74,85	3,95	22,58	Areno franca
	Desvío	3,85	1,73	2,72	
<i>Diferencia porcentual</i>		<i>+10,23</i>	<i>-54,06</i>	<i>-3,91</i>	

*sólo se obtuvieron dos mediciones por tal razón no se indica el desvío. El Procedimiento 2 fue descartado por obtener valores físicos absurdos.

Para el horizonte A del Haplustol éntico los resultados que mantienen la clase textural son los obtenidos por los procedimientos analíticos **1, 3 y 4**. En cuanto a la granulometría el procedimiento 3 es el que posee la menor diferencia porcentual absoluta promedio con respecto a la muestra testigo: 13 % mientras que los procedimientos 1 y 4 la diferencia es 44 y 28 % respectivamente.

En términos generales se observa que la mayor diferencia porcentual entre los datos obtenidos por los diferentes procedimientos analíticos y los de referencia datan en el % arcilla. En varios trabajos se cita que esta diferencia o error puede deberse a los tiempos de lectura, el que depende del sistema de clasificación usado. La separación entre limo y arcilla, según la Sociedad Internacional de las Ciencias del Suelos (0,002 mm), ocurre normalmente entre 8 y 12 horas de sedimentación, pero el tiempo exacto no puede ser identificado de antemano. Mediciones entre las 6 y las 8 horas y después entre las 12 y las 15 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 horas. Patrick (1958) usó 35 segundos y 8 horas. La metodología promovida por la ASTM, usa lecturas a 3, 10 y 30 minutos y 1,5; 4,5 y 12 horas (Day 1965). Sin embargo, ASTM (1972) también recomendó 2; 5; 15 y 30 minutos y 1; 4 y 24 horas, y la 2da edición del Manual de Métodos Estándares (Gee y Bauder, 1986) cita 30 y 60 segundos, 3; 10 y 30 minutos y 1; 1,5; 2 y 24 horas. La separación entre limo y arcilla, según la Sociedad Internacional de las Ciencias del Suelos (0,002 mm), ocurre normalmente entre 8 y 12 horas de sedimentación, pero el tiempo exacto no puede ser identificado de antemano. Mediciones entre las 6 y las 8 horas y después entre las 12 y las 15 horas pueden dar una medida más precisa del % de arcilla y limo. No obstante, estudios recientes a cargo de la Ing. Agr. Bozzer Catalina (datos no publicados) han reflejado no mostrar diferencias significativas entre mediciones a las 2 horas y a las 24 horas de lectura en suelos con alto contenido de arena, por lo que la hipótesis sería válida para suelos fuera de este rango. Además, un factor clave en la determinación por este método es la dispersión del suelo, por lo que 100ml de HMF, un batido de 5 minutos y una dispersión de al menos 16 horas da como resultado que las partículas presentes en la suspensión mantengan mayor tiempo de fricción entre ellas, generando un rompimiento de agregados y separación de las partículas granulométricas que se encuentran floculadas, ocasionando una dispersión física y química importante lo que altera los resultados. Esto es relevante ya que si los pequeños agregados no se disuelven, podrían inducir a la subestimación del % de arcillas y la sobreestimación del % de arenas. En definitiva, cuanto más arcillas y MO tenga el suelo, más importante se vuelve este punto. No obstante, para el caso de la MO existen métodos que incluyen el quemado previo, en función de la cantidad que presente la muestra. Lo mismo para Calcio (Ca), suelos con carbonatos requieren un "pre-procesamiento" antes de las mediciones con el densímetro para disminuir errores por la floculación consecuente de la presencia de Ca (Comunicación Personal, Bozzer, Catalina).

CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos en las diferentes variantes analíticas no aconsejan utilizar este método cuando se requieran valores granulométricos con exactitud.
- El método es aconsejable por su sencillez y relativa rapidez para determinar la clase textural.
- El procedimiento analítico 4 resultó el más fiable para determinar la Clase Textural en ambas granulometrías ensayadas.
- En la medida que aumenta la cantidad de coloide mineral el método se muestra menos confiable en los resultados.

BIBLIOGRAFIA

- ACOSTA NUÑEZ, D.; J, CORONADO GARCÍA; H, GONZÁLEZ MEDINA; 2007. El método del hidrómetro: base teórica para su empleo en la determinación de la distribución de tamaño de las partículas en el medio. **Revista ciencias técnicas agropecuarias**. Vol. 16. N° 3.
- AMOR, I. A., 1947. Comparación de los diferentes métodos de análisis granulométricos de suelos. Revista de obras públicas, pág. 207. En: http://ropdigital.ciccp.es/public/detalle_articulo.php?registro=16456 Consultado: 26-11-09
- ARTETA, R. L., 2000. Comparación de métodos de análisis mecánico de suelos. Terra 19:219-225
- ASTM. 1998. **American society for testing and materials**. D1426-98 Standard Test Meth
- ASTM. 1985: Standard test method for particle-size analysis of soils., 1985, Libroanual ASTM estándar 04.08:117–127, ASTM, Filadelfia.
- ASTM-E1 12. "*Test methods for determining the average grain size*".ods for Ammonia Nitrogen In Water.
- BAVER, L. D.; GARDNER W. H. Y GARDNER W. R.,1973. Física de suelos. Limusa. 196-204.
- BOUYOUCOS, G. S., 1936. **Directions for making mechanical análisis of soil by hydrometer method**. SoilSci. 4: 225-228.
- BOUYOUCOS, G. 1962: **Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils**, Agron. J., vol. 54: 464-465
- BUOL, SW, FD HOLE, Y RJ MCCRACKEN. 1973. Soil Genesis and Classification, The Iowa State Univ. Press, Ames, USA. Iowa 360 p.
- CALDERON S. F., 1999. Determinación de la textura por el método de Bouyoucos. En: [http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis Fisico de Suelos/Analisis Textura.htm](http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_Fisico_de_Suelos/Analisis_Textura.htm) Consultado:20-11-09
- CHAKRABORTY, D.; CHAKRABORTY, A.; SANTRA, P.; TOMAR, R. K.; GARG, R. N.; SAHOO, R. N.; CHOUDHURY, S.G.; BHAVANARAYANA, M.; KALRA, N. 2006. Prediction of hydraulic conductivity of soils from particle-size distribution.Current Science. Bangalore. 90 (11):1526- 1531.
- CHEPIL, W.S. 1956. Influence of moisture on erodibility of soil by wind. SoilScience of America, Proceedings 20, pp. 288-292.
- CLÉRICI, C., F. GARCÍA PRÉCHAC, 2001. Aplicación del modelo USLE/RUSLE para estimar pérdidas de suelo por erosión en Uruguay y en la región sur de la cuenca del Río Plata. **Revista Agrociencia**. Vol. V N°1, pág. 92-103.
- COLLADO, A. 2005. Erosión eólica potencial de los suelos en San Luis. **Informativo rural INTA-EEA San Luis**. Año 2 N° 5.

- CONICET, 2006. Textura: Propuesta alternativa para la determinación del porcentaje de arcilla por medio del hidrómetro. Consultado: 20-11-09. En: http://www.conicet.gov.ar/scp/vista_resumen.php?produccion=321426&id=476&keywords=
- CROSARA, A. Textura del suelo. En: <http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Practico%203.pdf>. Consultado: 17-10-09
- DAY, R. P. 1965b. Hydrometer method of particle size análisis. Pp. 545-552. In: Methods of soil análisis. Agronomy 9. ASA. USA.
- DAY, P. 1965a: **Particle fractionation and particle-size analysis**. In: Methods of Soil Analysis, Part 1, CA. Black (ed), Number 9, Agronomy Series, Amer. Soc. of Agron., Inc., Madison, WI, 1965
- DAY, R. P.: **Pipette method oh particle size análisis**. Pp. 553-562. In: Methods of soil análisis. Agronomy 9. ASA. USA.
- DEL VALLE F., R. A. PULIDO 1978. Instructivo para el análisis de suelos y aguas para riego. Departamento de irrigación. Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México.
- DIEZ HERNÁNDEZ, J. M., 2007. **Metodologías para la evaluación de la erosión hídrica en cuencas vertientes**, Ed. Ucaua.
- ETCHEVEHERE, P. 1976. **Normas de reconocimiento de suelos**. 2 Ed. INTA-EEA Castelar. 211.
- FAO - ECOCROP. 2007. The crop environmental requirements database & the crop environmental response database. En: <http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/home>. Consultado: 26-11-09,
- FILGUEIRA R., GELATI P. R., SORACCO C. G., SARLI G. O., 2005. Mejora en la metodología para determinar la fracción arcilla utilizando un hidrómetro, VIII Congreso Argentino de Ingeniería Rural. 9-12 de noviembre. Villa de Merlo, San Luis.
- FLORES DELGADILLO, L.; ALCALA MARTINEZ, J. R., 2010. Manual de Procedimientos Analíticos Laboratorio de Física de Suelos 2010 Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología Departamento de Edafología.
- FORSYTHE, W. 1980. Análisis de la distribución del tamaño de las partículas. Física de suelos, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, San José, Costa Rica. Pag. 46-68.
- FRÍAS M., D E LUXAN M. P. y SANCHEZ DE ROJAS M. I. 1988. En: *Espectrometría de difracción por rayos laser*. Materiales de la construcción, Vol. 38, n.º 212
- FRÍAS, M . P. D E LUXAN y M. I. SANCHEZ DE ROJAS 1988. Espectrometría de difracción por rayos laser - Diffractionspectrometryby laser beams. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, Vol. 38, n.º 212, Madrid/España
- FRITSCH GMBH. 2004. INSTRUCTION - MANUAL. Laser Particle Sizer “Analysette 22”
- GABRIELS DONALD Y LOBO DEYANIRA - Métodos para determinar granulometría y densidad aparente del suelo. Universidad de Gante, Bélgica; Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía. En: <http://saber.ucv.ve:8080/jspui/bitstream/123456789/4149/1/Gabriels%20y%20Lobo.%20Venesuelos.%202006.pdf>. Consultado: 10-05-2016

- GAUCHER, G., 1971. **El suelo y sus características agronómicas**. Capítulo IV, La textura del suelo. Ediciones Omega S.A. Pág. 647.
- GEE, G.W., BAUDER 1986. Particle Size Análisis. Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Minerological Methods. Agronomy Monograph no 9. Second Edition. Pp 383-411.
- GEE, G. W., D. OR 2002. Particle-Size Analysis, In J. H. Dane and G. C. Topp (ed.) Methods of soils analysis. Part 4, Book Series No. 5. SSSA, pp. 255-293, Madison WI.
- GEE, G.W. and J.W. BAUDER. 1979: **Particle size analysis by hydrometer: A simplified method for routine textural analysis and a sensitivity test of measurement parameters**, Soil Sci. Soc. Amer. J., vol. 43: 1004-1007.
- GEE, G.W. and D. OR: Particle-size analysis, In J.H. Dane and G.C. Topp (ed.) Methods of soil analysis. Part 4, Book Series No. 5, SSSA, pp.255-293, Madison, WI
- GIVI, J; S. O. PRASHER y R. M. PATEL, 2004. Evaluation OfPedotransferFuncions In Predicting The Soil Water Contents At Field Capacity And Wilting Point. Thesis Phd. Canadá.
- JARAMILLO J. DANIEL F. 2002. Introducción a la Ciencia del Suelo. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Medellín. En: <http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf> Consultado: 15-02-2013
- LLITJOTS VIZA A., MOLERA MARIMÓN J., 1995. **Estudio de cuatro adaptaciones escolares de métodos de observación y determinación de la textura del suelo**. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 1995. (3.1), 34-39 .
- LOPEZ ACEVEDO, M., C. ROQUERO, J. PORTA, 1994. **Edafología para la agricultura y en medio ambiente**. Ediciones Mundi-Prensa. Pág. 807.
- LUZIO WALTER L., NORAMBUENA PABLO V. Y VERA WILFREDO E., 2002. **Comparación entre los métodos de la pipeta y bouyoucos y su relación con la retención de agua en ocho suelos de la zona altiplánica de la provincia de Parinacota, Chile**. Agric. Téc. v.62 n.1 Chillán.
- MARELLI H., J, SANABRIA, M. E., ZABALA, 2003. Caracterización del potencial erosivo de suelos del centro sudeste de la provincia de Córdoba. INTA, EEA Márcos Juárez. Información para extensión N° 82.
- MEDINA GONZALEZ, H.; GARCÍA CORONADO, J.; NÚÑEZ ACOSTA, D.2007. El método del hidrómetro: base teórica para su empleo en la determinación de la distribución del tamaño de partículas de suelo Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, vol. 16, núm. 3, pp. 19-24 Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez La Habana, Cuba
- MELÉNDEZ CUERO H., MENDOZA J. A., MENDOZA RAMÍRES C., PAREDES D. P., URIBE RODRÍGUEZ P. N. 2015. Componente Práctico-Química Agrícola. Densidad aparente y densidad real. Universidad Nacional abierta y a distancia (UNAD). Colombia. En: https://prezi.com/uj2opacqbz8_/trabajo-colaborativo-1/ Consultado: 01-12-2016.
- Método de difracción láser. En: http://www.fritsch-laser.de/uploads/media/span_analysette22_neu_35.pdf. Consultado: 27-11-09

- MONTENEGRO, G. H.; Y MALAGÓN, C. D.;, 1990. Propiedades físicas de los suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Subdirección Agrológica. Santafé de Bogotá, D.C. 812 p.
- NORAMBUENA P., W LUZIO L. y W VERA E. 2002. Comparación entre los métodos de la pipeta y Bouyoucos y su relación con las retención de agua en ocho suelos de la zona antiplánica de la provincia de Parinacota, Chile. **Agricultura técnica**. Vol. 62 N° 1.
- OJEDA O. D. 1987. Empleo de los análisis de suelo para dar recomendaciones a nivel nacional. Pp. 119. En: J.F. TahIuit (Coord.) El análisis químico de suelos. Patronato Universitario. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- PATRICK, W. 2002: **Modification of method of particle size analysis** *Soil Sci., Soc. Proc.*, 22: 366-367.
- PORTA CASSANELLAS J., LOPEZ-ACEVEDO REGUERÍN, ROQUERO DE LABURU C. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. Pag. 83-101.
- SAMLA 2004 –Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación Argentina. Dirección de Producción Agrícola. Sistema de Apoyo Metodológico a los Laboratorios de Análisis de Suelos, Agua, Vegetales y Enmiendas Orgánicas.
- UNEX, 2005. Textura del suelo. En: <http://www.unex.es/edafo/ECAP/ECAL5PFTextura.htm>
Consultado: 14-09-09
- WISCHMEIER, W. H. y D. D. SMITH, 1978. Predicting rainfall erosion losses. USDA Agr. Res. Serv., Handbook, pp. 573.
- ZABALA, M. E.; H. MARELLI; J. SANABRIA, 2003. Caracterización del Potencial Erosivo de Suelos del Centro Sudeste de la Provincia de Córdoba. EEA - INTA – Marcos Juárez.

ANEXO

1 - RESULTADOS POR PROCEDIMIENTO Y MUESTRA

Procedimiento	Suelo	% arena	% arcilla	% limo
1	H. éntico	69,76	0,24	30
		55,96	4,64	39,4
		53,76	4,24	42
	H. típico	27,76	12,24	60
		35,76	13,04	51,2
		33,36	12,44	54,2
2	H. éntico	91,2	-18,4	-9,6
		82,6	-3,4	27,412
	H. típico	57,6	2	40,4
		45,6	4,2	50,2
		32	46,4	21,6
3	H. éntico	71,875	8,125	20
		71,875	4,025	24,1
	H. típico	56,4375	16,025	27,5
		55,2125	17,75	27,03125
		53,05	12,675	34,275
4	H. éntico	70,2	24,6	4,2
		53,2	8,8	38
		58,8	10,8	30,4
	H. típico	34,4	19,6	46
		32,8	19,6	47,6
		40,8	14,8	44,4
5	H. éntico	78,4	4,1	21,6
		72,95	1,65	25,45
		73,2	6,1	20,7
	H. típico	50,9	21,6	27,5
		75,1	1,7	23,2
		53	20,4	26,6

2 – DETALLE DE LOS PROCEDIMIENTOS

Procedimiento 1

MUESTRA 1

	LECTURA		TEMPERATURA °C	
	40 seg	2 horas	40 seg	2 horas
OLAETA	16	1	15	15
RIO CUARTO	37	7	15	15

T° corregidas: adicionar o restar 0,2 unidades por cada grado por encima o debajo de 19,4°C respectivamente.

	Lectura corregida a los 40''	Lectura corregida a las 2 hs
OLAETA	$19,4-15=4,4$ $4,4*0,2=0,88$ $16-0,88=15,12$	$19,4-15=4,4$ $4,4*0,2=0,88$ $1-0,88=0,12$
RIO CUARTO	$19,4-15=4,4$ $4,4*0,2=0,88$ $37-0,88=36,12$	$19,4-15=4,4$ $4,4*0,2=0,88$ $7-0,88=6,12$

OLAETA

A%: $100 - (15,12/50 * 100) = 100 - 30,24 = 69,76\%$

AR%: $0,12/50 * 100 = 0,24\%$

L%: $100 - 69,76 - 0,24 = 30\%$

RIO CUARTO

A%: $100 - (36,12/50 * 100) = 100 - 72,24 = 27,76\%$

Ar%: $6,12/50 * 100 = 12,24\%$

L%: $100 - 27,76 - 12,24 = 60\%$

MUESTRA 2

	LECTURA		TEMPERATURA °C	
	40 seg	2 horas	40 seg	2 horas
OLAETA	23	2	14,5	16
RIO CUARTO	33	7	15	17

T° corregidas: adicionar o restar 0,2 unidades por cada grado por encima o debajo de 19,4°C respectivamente.

	Lectura corregida a los 40''	Lectura corregida a las 2 hs

OLAETA	19,4-14,5=4,9 4,9*0,2=0,98 23-0,98=22,02	19,4-16=3,4 3,4*0,2=0,68 3-0,68=2,32
RIO CUARTO	19,4-15=4,4 4,4*0,2=0,88 33-0,88=32,12	19,4-17=2,4 2,4*0,2=0,48 7-0,48=6,52

OLAETA

A%: $100 - (22,02/50 * 100) = 100 - 44,04 = 55,96\%$

AR%: $2,32/50 * 100 = 4,64\%$

L%: $100 - 55,96 - 4,64 = 39,4\%$

RIO CUARTO

A%: $100 - (32,12/50 * 100) = 100 - 64,24 = 35,76\%$

Ar%: $6,52/50 * 100 = 13,04\%$

L%: $100 - 35,76 - 13,04 = 51,2\%$

MUESTRA 3

	LECTURA		TEMPERATURA °C	
	40 seg	2 horas	40 seg	2 horas
OLAETA	24	3	15	15
RIO CUARTO	34	7	16	15,5

T° corregidas: adicionar o restar 0,2 unidades por cada grado por encima o debajo de 19,4°C respectivamente.

	Lectura corregida a los 40''	Lectura corregida a las 2 hs
Olaeta	19,4-15=4,4 4,4*0,2=0,88 24-0,88=23,12	19,4-15=4,4 4,4*0,2=0,88 3-0,88=2,12
Rio 4	19,4-16=3,4 3,4*0,2=0,68 34-0,68=33,32	19,4-15,5=3,9 3,9*0,2=0,78 7-0,78=6,22

OLAETA

A%: $100 - (23,12/50 * 100) = 100 - 46,24 = 53,76\%$

AR%: $2,12/50 * 100 = 4,24\%$

L%: $100 - 53,76 - 4,24 = 42\%$

RIO CUARTO

A%: $100 - (33,32/50 * 100) = 100 - 66,64 = 33,36\%$

Ar%: $6,22/50 * 100 = 12,44\%$

L%: $100 - 33,36 - 12,44 = 54,2\%$

Procedimiento 2.

MUESTRA 1

	LECTURA		TEMPERATURA	
	40 seg	2 horas	40 seg	2 horas
BLANCO	-5	-4	29,5	30
OLAETA	16	3	24	24
RIO CUARTO	25	5	30,5	30

T° corregidas: adicionar o restar 0,2 unidades por cada grado por encima o debajo de 19,44°C respectivamente.

	T° corregida a los 40''	T° corregida a las 2 hs
BLANCO	$29,5 - 19,44 = 10,06$ $10,06 * 0,2 = 2,012$ $29,5 + 2,012 = 31,512$	$30 - 19,44 = 10,56$ $10,56 * 0,2 = 2,112$ $30 + 2,112 = 32,112$
RIO CUARTO	$30,5 - 19,44 = 11,06$ $11,06 * 0,2 = 2,212$ $30,5 + 2,212 = 32,712$	$30 - 19,44 = 10,56$ $10,56 * 0,2 = 2,112$ $30 + 2,112 = 32,112$
OLAETA	$24 - 19,44 = 4,56$ $4,56 * 0,2 = 0,912$ $24 + 0,912 = 24,912$	$24 - 19,44 = 4,56$ $4,56 * 0,2 = 0,912$ $24 + 0,912 = 24,912$

OLAETA:

Lectura a los 40'':

% arena: $100 - (\text{limo} + \text{arcilla}) = 100 - 8,8 = 91,2\%$

% limo + % arcilla: $((A - B) / \text{peso de la muestra}) * 100 = (40,912 - 36,512) / 50 * 100 = 8,8\%$

A: lectura del hidrómetro + T° corregida = $16 + 24,912 = 40,912$

B: lectura del blanco - T° corregida = $-5 - 31,512 = -36,512$

Lectura a las 2 hs:

% arcilla: $((A - B) / \text{peso de la muestra}) * 100 = (27,912 - 37,112) / 50 * 100 = -18,4\%$

A: lectura del hidrómetro + T° corregida=3+24,912=27,912

B: lectura del blanco – T° corregida=-5-32,112=-37,112

% limo: 100-91,2-18,4=-9,6%

RIO CUARTO:

Lectura a los 40'':

% arena: 100-(limo+arcilla)=100-42,4=57,6%

% limo+% arcilla: ((A-B)/peso de la muestra)*100=57,712-36,512)/50*100=42,4%

A: lectura del hidrómetro + T° corregida=25+32,712=57,712

B: lectura del blanco – T° corregida=-5-31,512=-36,512

Lectura a las 2 hs:

% arcilla: ((A-B)/peso de la muestra)*100= (37,112-36,112)/50*100=2%

A: lectura del hidrómetro + T° corregida=5+32,112=37,112

B: lectura del blanco – T° corregida=-4-32,112=-36,112

% limo: 100-57,6-2=40,4%

MUESTRA 2

	LECTURA		TEMPERATURA	
	40 seg	2 horas	40 seg	2 horas
BLANCO	1	-3	23	25
OLAETA	5	1	25,25	25,25
RIO CUARTO	25	6	24	24,25

T° corregidas: adicionar o restar 0,2 unidades por cada grado por encima o debajo de 19,44°C respectivamente.

	T° corregida a los 40''	T° corregida a las 2 hs
BLANCO	23-19,44=3,56 3,56*0,2=0,712 23+0,712=23,712	25-19,44=5,56 5,56*0,2=1,112 25+1,112=26,112
RIO CUARTO	24-19,44=4,56 4,56*0,2=0,912 24+0,912=24,912	24,25-19,44=4,56 4,56*0,2=0,962 24,25*0,962=25,212
OLAETA	25,25-19,44=5,81 5,81*0,2=1,162 25,25+1,162=26,412	25,25-19,44=5,81 5,81*0,2=1,162 25,25+1,162=26,412

OLAETA:*Lectura a los 40'':*% arena: $100 - (\text{limo} + \text{arcilla}) = 100 - 17,4 = 82,6$ % limo + % arcilla: $((A-B) / \text{peso de la muestra}) * 100 = (31,412 - 22,712) / 50 * 100 = 17,4\%$ A: lectura del hidrómetro + T° corregida = $5 + 26,412 = 31,412$ B: lectura del blanco - T° corregida = $1 - 23,712 = -22,712$ *Lectura a las 2 hs:*% arcilla: $((A-B) / \text{peso de la muestra}) * 100 = (27,412 - 29,112) / 50 * 100 = -3,4\%$ A: lectura del hidrómetro + T° corregida = $1 + 26,412 = 27,412$ B: lectura del blanco - T° corregida = $-3 - 26,112 = 29,112$ (estos datos hacen ruido, ya que la resta va a dar negativo y arrastrar el error)% limo: $100 - 82,6 - 3,4 = 14\%$ **RIO CUARTO:***Lectura a los 40'':*% arena: $100 - (\text{limo} + \text{arcilla}) = 100 - 54,4 = 45,6\%$ % limo + % arcilla: $((A-B) / \text{peso de la muestra}) * 100 = (49,912 - 22,712) / 50 * 100 = 54,4$ A: lectura del hidrómetro + T° corregida = $25 + 24,912 = 49,912$ B: lectura del blanco - T° corregida = $1 - 23,712 = -22,712$ *Lectura a las 2 hs:*% arcilla: $((A-B) / \text{peso de la muestra}) * 100 = (31,212 - 29,112) / 50 * 100 = 4,2\%$ A: lectura del hidrómetro + T° corregida = $6 + 25,212 = 31,212$ B: lectura del blanco - T° corregida = $-3 - 26,112 = -29,112$ % limo: $100 - 45,6 - 4,2 = 50,2\%$ **MUESTRA 3**

	LECTURA		TEMPERATURA	
	40 seg	2 horas	40 seg	2 horas
BLANCO	1	-3	23	25
OLAETA	5	1	25,25	25,25
RIO CUARTO	25	6	24	24,25

T° corregidas: adicionar o restar 0,2 unidades por cada grado por encima o debajo de 19,44°C respectivamente.

	T° corregida a los 40''	T° corregida a las 2 hs
BLANCO	$19,44 - 17 = 2,44$ $2,44 * 0,2 = 0,488$	$19,44 - 18 = 1,44$ $1,44 * 0,2 = 0,288$

	17-0,488=16,512	18-0,288=17,712
RIO CUARTO	19,44-17=2,44	19,44-17=2,44
	2,44*0,2=0,488	2,44*0,2=0,488
	17-0,488=16,512	17-0,488=16,512

RIO CUARTO:

Lectura a los 40'':

% arena: $100 - (\text{limo} + \text{arcilla}) = 100 - 68 = 32\%$

% limo + % arcilla: $((A - B) / \text{peso de la muestra}) * 100 = (46,512 - 12,512) / 50 * 100 = 68\%$

A: lectura del hidrómetro + T° corregida = $30 + 16,512 = 46,512$

B: lectura del blanco - T° corregida = $4 - 16,512 = 12,512$

Lectura a las 2 hs:

% arcilla: $((A - B) / \text{peso de la muestra}) * 100 = (35,712 - 12,512) / 50 * 100 = 46,4\%$

A: lectura del hidrómetro + T° corregida = $18 + 17,712 = 35,712$

B: lectura del blanco - T° corregida = $4 - 16,512 = 12,512$

% limo: $100 - 32 - 46,4 = 21,6\%$

Procedimiento 3.

MUESTRA 1 OLAETA

	LECTURA		TEMPERATURA	
	40 seg	2 horas	40 seg	2 horas
OLAETA	10	2	23	23

OLAETA:

Factor de corrección (calculado a través de tabla):

FC 40'' (23°C) = $(0,89 + 1,61) / 2 = 1,25$

FC 2hs (23°C) = $(0,89 + 1,61) / 2 = 1,25$

% arena: $100 - (\text{lectura corregida por T° a los 40''} / \text{peso muestra} * 100)$

% arena: $100 - (10 + 1,25) / 40 * 100 = 71,875\%$

% arcilla: $(\text{lectura corregida por T° a las 2hs}) / \text{peso muestra} * 100$

% arcilla: $(2 + 1,25) / 40 * 100 = 8,125\%$

% limo: $100 - 71,875 - 8,125 = 20\%$

MUESTRA 1 RIO CUARTO

	LECTURA	TEMPERATURA

	40 seg	2 horas	40 seg	2 horas
RIO CUARTO	18	7	18	18
BLANCO	-2	-1	17	17

RIO CUARTO:

Factor de corrección (calculado a través de tabla):

$$FC\ 40''\ (18^{\circ}C) = -0,44$$

$$FC\ 2hs\ (18^{\circ}C) = -0,44$$

$$FC\ Blanco\ 40''\ (17^{\circ}C) = -0,71$$

$$FC\ Blanco\ 2hs\ (17^{\circ}C) = -0,71$$

$$T^{\circ}\ corregida\ a\ los\ 40'':\ (-0,44+(-0,71))/2 = -0,575$$

$$T^{\circ}\ corregida\ a\ las\ 2hs:\ (-0,44+(-0,71))/2 = -0,575$$

$$\%arena: 100 - (\text{lectura corregida por } T^{\circ} \text{ a los } 40'' / \text{peso muestra} * 100)$$

$$\%arena: 100 - (18 - 0,575) / 40 * 100 = 56,4375\%$$

$$\%arcilla: (\text{lectura corregida por } T^{\circ} \text{ a las } 2hs) / \text{peso muestra} * 100$$

$$\%arcilla: (7 - 0,575) / 40 * 100 = 16,0625\%$$

$$\%limo: 100 - 56,4375 - 16,0625 = 27,5\%$$

MUESTRA 1 OLAETA

	LECTURA		TEMPERATURA	
	40 seg	2 horas	40 seg	2 horas
OLAETA	10	0	23,25	24

OLAETA:

Factor de corrección (calculado a través de tabla):

$$FC\ 40''\ (23,25^{\circ}C) = (0,89+1,61)/2 = 1,25$$

$$FC\ 2hs\ (24^{\circ}C) = 1,61$$

$$\%arena: 100 - (\text{lectura corregida por } T^{\circ} \text{ a los } 40'' / \text{peso muestra} * 100)$$

$$\%arena: 100 - (10 + 1,25) / 40 * 100 = 71,875\%$$

$$\%arcilla: (\text{lectura corregida por } T^{\circ} \text{ a las } 2hs) / \text{peso muestra} * 100$$

$$\%arcilla: (0 + 1,62) / 40 * 100 = 4,025\%$$

$$\%limo: 100 - 71,875 - 4,025 = 24,1\%$$

MUESTRA 2 RIO CUARTO

	LECTURA		TEMPERATURA	
	40 seg	2 horas	40 seg	2 horas
RIO CUARTO	19	8	17	17,5

BLANCO	0	-2	14	15
--------	---	----	----	----

RIO CUARTO:

Factor de corrección (calculado a través de tabla):

FC 40'' (17°C)= -0,71

FC 2hs (17,5°C)= -0,575

FC Blanco 40'' (14°C)= -1,46

FC Blanco 2hs (15°C)= -1,22

T° corregida a los 40'': $(-0,71+(-1,46))/2=-1,085$

T° corregida a las 2hs: $(-0,575+(-1,22))/2=-0,8975$

%arena: $100-(\text{lectura corregida por } T^\circ \text{ a los } 40''/\text{peso muestra} \times 100)$

%arena: $100-(19+(-1,085))/40 \times 100=55,2125\%$

%arcilla:(lectura corregida por T° a las 2hs)/peso muestra*100

%arcilla: $(8+(-0,8975))/40 \times 100=17,75\%$

%limo: $100-55,2125-17,75=27,03125\%$

MUESTRA 3 RIO CUARTO

	LECTURA		TEMPERATURA	
	40 seg	2 horas	40 seg	2 horas
RIO CUARTO	20	7	16	17
BLANCO	0	-2	14	15

RIO CUARTO:

Factor de corrección (calculado a través de tabla):

FC 40'' (16°C)= -0,98

FC 2hs (17°C)= -0,71

FC Blanco 40'' (14°C)= -1,46

FC Blanco 2hs (15°C)= -1,22

T° corregida a los 40'': $(-0,98+(-1,46))/2=-1,22$

T° corregida a las 2hs: $(-0,71+(-1,22))/2=-1,93$

%arena: $100-(\text{lectura corregida por } T^\circ \text{ a los } 40''/\text{peso muestra} \times 100)$

%arena: $100-(20+(-1,22))/40 \times 100=53,05\%$

%arcilla:(lectura corregida por T° a las 2hs)/peso muestra*100

%arcilla: $(7+(-1,93))/40 \times 100=12,675\%$

%limo: $100-53,05-12,675=34,675\%$

Pocedimiento 4.

Metodologia de la UBA

MUESTRA 1 OLAETA

	LECTURA		TEMPERATURA (°C)	
	40 seg	2 horas	40 seg	2 horas
BLANCO	1	0	28	24
OLAETA	17	13	23	22

OLAETA:

1° lectura corregida: $17 - (1 + 1,1) = 14,9$

2° lectura corregida: $13 - (0 + 0,7) = 12,3$

% arena: $100 - 1^\circ \text{lectura corregida} * 2 = 100 - (14,9 * 2) = 70,2\%$

% arcilla: $2^\circ \text{lectura corregida} * 2 = 12,3 * 2 = 24,6\%$

% limo: $100 - \% \text{arena} - \% \text{arcilla} = 100 - 70,2 - 24,6 = 4,2\%$

MUESTRA 1 RIO CUARTO

	LECTURA		TEMPERATURA (°C)	
	40 seg	2 horas	40 seg	2 horas
BLANCO	4	4	17	17
RIO CUARTO	33	31	17	17

RIO CUARTO

1° lectura corregida: $36 - (4 + (-0,8)) = 32,8$

2° lectura corregida: $13 - (4 + (-0,8)) = 9,8$

% arena: $100 - 1^\circ \text{lectura corregida} * 2 = 100 - (32,8 * 2) = 34,4\%$

% arcilla: $2^\circ \text{lectura corregida} * 2 = 9,8 * 2 = 19,6\%$

% limo: $100 - \% \text{arena} - \% \text{arcilla} = 100 - 34,4 - 19,6 = 46\%$

MUESTRA 2

	LECTURA		TEMPERATURA (°C)	
	40 seg	2 horas	40 seg	2 horas
BLANCO	5	5	14	15
OLAETA	27	8	15	15
RIO CUARTO	37	13	14	15

OLAETA:

1° lectura corregida: $27-(5-1,4)=23,4$

2° lectura corregida: $8-(5-1,4)=4,4$

% arena: $100-1^\circ\text{lectura corregida}*2=100-(23,4*2)=53,2\%$

% arcilla: $2^\circ\text{lectura corregida}*2=4,4*2=8,8\%$

% limo: $100-\% \text{arena}-\% \text{arcilla}=100-53,2-8,8=38\%$

RIO CUARTO

1° lectura corregida: $37-(5-1,6)=33,6\%$

2° lectura corregida: $13-(5-1,8)=9,8\%$

% arena: $100-1^\circ\text{lectura corregida}*2=100-(33,6*2)=32,8\%$

% arcilla: $2^\circ\text{lectura corregida}*2=9,8*2=19,6\%$

% limo: $100-\% \text{arena}-\% \text{arcilla}=100-32,8-19,6=47,6\%$

MUESTRA 3

	LECTURA		TEMPERATURA (°C)	
	40 seg	2 horas	40 seg	2 horas
BLANCO	7	5	14	15
OLAETA	26	9	14	15
RIO CUARTO	35	11	14	15

OLAETA:

1° lectura corregida: $26-(7-1,6)=20,6$

2° lectura corregida: $9-(5+1,4)=5,4$

% arena: $100-1^\circ\text{lectura corregida}*2=100-(20,6*2)=58,8\%$

% arcilla: $2^\circ\text{lectura corregida}*2=5,4*2=10,8\%$

% limo: $100-\% \text{arena}-\% \text{arcilla}=100-58,8-10,8=30,4\%$

RIO CUARTO

1° lectura corregida: $35-(7-1,6)=29,6$

2° lectura corregida: $11-(5-1,4)=7,4\%$

% arena: $100-1^\circ\text{lectura corregida}*2=100-(29,6*2)=40,8\%$

% arcilla: $2^\circ\text{lectura corregida}*2=7,4*2=14,8\%$

% limo: $100-\% \text{arena}-\% \text{arcilla}=100-40,8-14,8=44,4\%$

Procedimiento 5

MUESTRA 1

RIO CUARTO

	LECTURAS	TEMPERATURA	BLANCO
30''	25	20,5	5
1'	23	20,5	5
3'	20	20,5	5
10'	18	20,5	5
30'	16	20,5	5
60'	15	20,5	5
90'	15	20,5	5
120'	14	20,5	5
1440'	11	20	5

%limo+arcilla: $[(25 \pm (0,36 \times (20-20,5)) - 5 \pm (0,36 \times (20-20,5))) \times 100]/40$

%limo+arcilla: 49,1

%arcilla: $[(14 \pm (0,36 \times (20-20,5)) - 5 \pm (0,36 \times (20-20,5))) \times 100]/40$

%arcilla: 21,6

%limo: $49,1-21,6=27,5$

%arena: $100-27,5-21,6 = 50,9$

OLAETA

	LECTURAS	TEMPERATURA	BLANCO
30''	12	20,5	5
1'	11	20,5	5
3'	10	20,5	5
10'	9	20,5	5
30'	9	20,5	5
60'	8	20,5	5
90'	7	20,5	5
120'	7	20,5	5
1440'	6	20	5

%limo+arcilla: $[(12 \pm (0,36 \times (20-20,5)) - 5 \pm (0,36 \times (20-20,5))) \times 100]/40$

%limo+arcilla: 21,6

% arcilla: $[(7 \pm (0,36 \times (20-20,5)) - 5 \pm (0,36 \times (20-20,5))) \times 100] / 40$

% arcilla: 4,1

% limo: $21,6 - 4,1 = 17,5$

% arena: $100 - 17,5 - 4,1 = 78,4$

MUESTRA 2

RIO CUARTO

	LECTURAS	TEMPERATURA	BLANCO
30´´	15	27	0
1´	12	27	-1
3´	10	27,25	-2
10´	10	27,75	-1
30´	7	27,75	-1
60´	6	28	-1
90´	5	26	0
120´	5	26	0
1440´	5	26	0

% limo+arcilla: $[(15 \pm (0,36 \times (20-27)) - 0 \pm (0,36 \times (20-27))) \times 100] / 40$

% limo+arcilla: 24,9

% arcilla: $[(5 \pm (0,36 \times (20-26)) - 0 \pm (0,36 \times (20-26))) \times 100] / 40$

% arcilla: 1,7

% limo: $24,9 - 1,7 = 23,2$

% arena: $100 - 23,2 - 1,7 = 75,1$

30´	4	23	-1
60´	4	23	-1
90´	3	23	0
120´	3	23,25	0
1440´	2	22,25	0

% limo+arcilla: $[(13 \pm (0,36 \times (20-23)) - 0 \pm (0,36 \times (20-23))) \times 100] / 40$

% limo+arcilla: 27,1

% arcilla: $[(3 \pm (0,36 \times (20-23,25)) - 0 \pm (0,36 \times (20-23,25))) \times 100] / 40$

% arcilla: 1,65

% limo: $27,1 - 1,65 = 25,45$

% arena: $100 - 25,45 - 1,65 = 72,95$

MUESTRA 3

RIO CUARTO

	LECTURAS	TEMPERATURA	BLANCO
30''	22	17,5	5
1´	19	17,5	5
3´	18	18	5
10´	15	18	5
30´	14	17,5	5
60´	12	17	5
90´	11	17	5
120´	11	17	5
1440´	8	17,5	4

%limo+arcilla: $[(22 \pm (0,36 \times (20-17,5)) - 5 \pm (0,36 \times (20-17,5))) \times 100] / 40$

%limo+arcilla: 47

%arcilla: $[(11 \pm (0,36 \times (20-17)) - 5 \pm (0,36 \times (20-17))) \times 100] / 40$

%arcilla: 20,4

%limo: $47 - 20,4 = 26,6$

%arena: $100 - 26,6 - 20,4 = 53$

OLAETA

	LECTURAS	TEMPERATURA	BLANCO
30''	15	19	5
1´	13	19	5
3´	11	19	5
10´	10	19	5
30´	9	18	5
60´	7	18	5
90´	7	18	5
120´	6	18	5
1440´	5	18	4

%limo+arcilla: $[(15 \pm (0,36 \times (20-19)) - 5 \pm (0,36 \times (20-19))) \times 100] / 40$

%limo+arcilla: 26,8

%arcilla: $[(6 \pm (0,36 \times (20-18)) - 5 \pm (0,36 \times (20-18))) \times 100] / 40$

% arcilla: 6,1

% limo: $26,8 - 6,1 = 20,7$

% arena: $100 - 20,7 - 6,1 = 73,2$