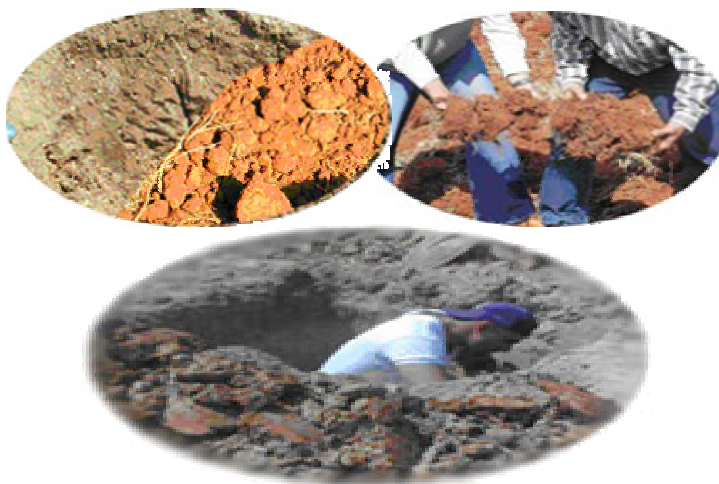




INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS FÍSICO DE LOS SUELOS

Manual de Laboratorio



Juvenal Luis Hernández

Enero, 2007

Corrección y edición: María Mariana Pérez Jorge

Diseño y realización: Yamila Isabel Díaz Bravo

SOBRE LA PRESENTE EDICIÓN:

© Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), 2007

© Juvenal Luis Hernández

ISBN: 978-959-7023-39-5

Ediciones INCA

Gaveta postal 1, San José de las Lajas, La Habana, Cuba, CP 32 700

INDICE

Introducción	1
Toma de la muestra de suelo y preparación para su uso en el laboratorio	2
Determinación de la humedad higroscópica. Método gravimétrico	5
Determinación de la humedad higroscópica máxima. Método de A.V. Nikolaev	7
Determinación de la humedad natural o de campo del suelo. Método gravimétrico	9
Determinación de la composición mecánica del suelo. Método de N. A. Kachinskii	11
Método de Bouyoucos, densímetros de sedimentación continua. Modificado por Frómata (1996)	17
Análisis granulométrico de los microagregados del suelo. Métodos de N. A. Kachinskii y de Bouyoucos	22
Análisis de los agregados del suelo. Método de N. I. Savvinov	24
Determinación de la densidad de la fase sólida o densidad real del suelo. Método picnométrico en agua	29
Determinación de la densidad del suelo o densidad aparente, utilizando una muestra de estructura no alterada	33
Determinación de la densidad del suelo o densidad aparente utilizando una muestra de estructura alterada	35
Determinación de la porosidad	36
<i>Determinación de la porosidad total</i>	36
<i>Determinación de la porosidad de aireación</i>	37
Determinación del límite inferior y superior de plasticidad, así como el índice de plasticidad. Método de Atterberg	38
Referencias	40
Anexos	

Introducción

El conocimiento de las propiedades físicas de los suelos reviste una gran importancia para el desarrollo de una buena agricultura, ya que estas nos permiten evaluar mejor las diferentes actividades agrícolas, tales como el laboreo, la irrigación, el drenaje, la fertilización, la conservación de los suelos y aguas, así como otros aspectos que incluyen la productividad de los cultivos.

La Física del Suelo estudia técnicas que contribuyen a resolver los problemas de la producción de los cultivos. El conocimiento de estas técnicas implica, a su vez, el conocimiento de la naturaleza física del suelo.

En el laboratorio de Física del Suelo del Departamento de Fitotecnia del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, no existía un manual que recogiera los diferentes métodos de análisis ejecutados. Para realizar estos análisis se utilizaban libros de prácticas edafológicas o notas tomadas en otros laboratorios de suelo, no existiendo en muchas ocasiones de una forma consolidada, los aspectos necesarios para la mejor comprensión del técnico ejecutor de estos.

Por este motivo, a inicios del 2000. se comenzó a trabajar en la confección del Manual para el Laboratorio que ahora se presenta, en el que se expone de forma clara y completa cada método de análisis físico del suelo, lo que facilitará en gran medida el trabajo del técnico de laboratorio dedicado a estas labores, pudiendo contar ahora con una guía práctica y eficiente para consultar, la cual puede ser de utilidad para otros centros de investigación o universidades relacionadas con esta ciencia.

Toma de la muestra de suelo y preparación para su uso en el laboratorio

La toma de la muestra de suelo en el campo puede ser de diferentes formas y profundidades, de acuerdo al estudio de las propiedades físicas que se requieran determinar. Lo mismo ocurre con los utensilios a utilizar. Es bueno señalar que desde la toma de la muestra hasta su preparación en el laboratorio, todo debe hacerse con sumo cuidado y destreza. Recuerde que se llegará a una caracterización del suelo estudiado, basada en los resultados del laboratorio. Para lograr esto, las muestras, desde que salen del campo hasta ser utilizadas en el laboratorio, deben estar bien identificadas dentro y fuera del recipiente que las contenga, donde aparecen los datos siguientes:

- Localización
- Experimento
- Tratamiento
- Réplica
- Punto donde se toma la muestra
- Profundidad del suelo
- Fecha de tomada la muestra.

1. Toma de muestra para la determinación de la densidad aparente del suelo

- Se toma la muestra con un cilindro de 100 cm³ o una barrena, que en su extremo posea un cilindro con estas dimensiones (Fernández y Luis, 1994), siempre con mucho cuidado para no alterar la muestra al tomarla. Es conveniente señalar que para obtener buenos resultados en esta determinación y en las demás que dependen de ella (porosidades), la humedad del suelo (humedad natural), en el momento de tomar la muestra, nunca debe ser menor del 80 % de la capacidad de campo del suelo. En los suelos Ferralíticos Rojos, este momento se alcanza transcurridos tres días después de llover o haber efectuado un riego.
- Las muestras se toman de los diferentes horizontes o de capas de suelo definidas.
- El cilindro se introduce en el suelo apretándolo hacia abajo por el borde ensanchado o después de poner una barra de madera de 3 a 4 cm de grosor, golpeándolo con un mazo hasta que el borde superior del cilindro llegue a ras del suelo. De todas formas el suelo se allana al nivel de los bordes del cilindro por medio de un cuchillo y se limpia el suelo adherido a las paredes exteriores del cilindro. El mismo cuidado se debe tener cuando utilizamos la barrena.
- La muestra tomada se pasa íntegramente a una caja de aluminio con tapa, de 60 mm de diámetro interior y 45 mm de altura, tarada.
- De cada horizonte o capa se toman como mínimo tres muestras. Después de tomar las muestras del horizonte superior, se retira el suelo con una palita y de la superficie descubierta, se toman las siguientes muestras.

- Se anotan en la libreta de campo los datos:
 - Localización
 - Experimento
 - Tratamiento
 - Réplica
 - Punto donde se toma la muestra
 - Profundidad del suelo
 - Fecha de tomada la muestra
 - Número de la caja de aluminio
- Las cajas de aluminio se transportan en maletas de madera hasta el laboratorio.

2. Toma de muestra y preparación del suelo para el análisis de los agregados en el laboratorio

Esta operación se realiza con mucho cuidado y a las profundidades deseadas, utilizando una pala, tratando de no dañar la conformación del suelo. Esta muestra debe pesar aproximadamente 1 kg y se transporta al laboratorio en cajas de madera o cilindros de aluminio con su tapa para la mejor conservación de su estructura; en caso de utilizarse bolsas de polietileno debe extremarse el cuidado en su transportación.

Este suelo se seca al aire en cualquier tipo de bandeja durante cuatro a cinco días, en lugar limpio, seco y con buena corriente de aire (nunca donde puedan existir vapores de productos químicos). Se limpia, sin desmenuzar, de raíces, cantos y demás intrusiones, quedando listo para el análisis.

3. Toma de muestra y preparación para las demás determinaciones en el laboratorio

Las muestras de suelo se toman utilizando palas, picos o barrenas, según se requiera y deben pesar aproximadamente 0.5 kg. Se transportan en cilindros de aluminio con su tapa, bolsas de polietileno no perforadas u otros medios. Ya en el laboratorio cada muestra se coloca en una hoja de papel o polietileno, se allana en forma de capa fina y se cuartea por medio de dos diagonales. Las partes opuestas se unen y se guardan con su identificación y las otras se unen y se ponen a secar al aire en cualquier tipo de bandeja, se allanan, se desmenuzan los terrones, eliminando las raicillas u otras intrusiones y se deja secar al aire, al igual que en el aspecto no. 2. Posteriormente, este suelo se pasa a una superficie en la que se tritura por medio de un rodillo de madera, pudiéndose también realizar con el empleo de un mortero con una mano de madera (el rodillo o la mano pueden estar recubiertos de goma).

El suelo, ya triturado, se va pasando a un tamiz de 1 mm (dimensión más generalizada para utilizar en los análisis físicos en el laboratorio), aunque en algunos casos, como es el método de Bouyoucos, para la determinación de la composición mecánica del suelo, este se pasa por tamiz de 2 mm. El suelo que no pasa por el tamiz vuelve a ser triturado hasta que solo queden piedras.

El suelo tamizado se mezcla cuidadosamente con una cuchara, cuarteándolo, como se explicó al iniciar este aspecto, depositando la parte que va a ser analizada de inmediato en el laboratorio, en un frasco limpio y seco con su tapa.

Determinación de la humedad higroscópica. Método gravimétrico

Fundamentación. Para la mayoría de los análisis de laboratorio, el suelo debe ser secado al aire. Pero este suelo tiene la propiedad de retener establemente, la humedad vaporosa del aire en la superficie de sus partículas, la que está en equilibrio con la humedad atmosférica. A esta humedad fijada al suelo, después de ser secado al aire, se le llama humedad higroscópica.

Se determina para poder calcular el peso del suelo seco o para conocer la humedad contenida en un suelo secado al aire, valores que se utilizan en los cálculos de la densidad real, de los límites de plasticidad, así como en los de otras propiedades físicas de los suelos. Esta humedad no es asimilable por las plantas (Cairo y Fundora, 1994; Kaurichev, 1984).

Técnica analítica

1. Un pesafiltro con su tapa (recipiente pequeño de cristal con tapa esmerilada) o una cajita de aluminio con su tapa, se seca en una estufa a la temperatura de 100-105⁰C, hasta que no cambie de masa (aproximadamente 2 h).
2. Se enfría en una desecadora con CaCl₂ o sílica gel en el fondo.
3. Se pesa en balanza analítica y se agregan 5 g de suelo secado al aire y tamizado a través de una malla de 1 mm. Esta determinación no es necesario hacerla por duplicado.
4. El suelo en el pesafiltro destapado se seca en la estufa al mismo rango de temperaturas, durante un tiempo de 8 horas como mínimo, (generalmente se deja en la estufa de un día para otro ≈12 horas), con lo que se eliminan las pesadas intermedias y se logra un valor constante de la masa. La temperatura no debe exceder los 110⁰C, se puede eliminar un porcentaje de materia orgánica.
5. Posteriormente, sacar las muestras de la estufa, refrescándolas en la desecadora y pesándolas en balanza analítica (0.0001 g).

Cálculos. La humedad higroscópica (W_h) se calcula por medio de la fórmula:

$$Wh\% = \frac{a}{b} \cdot 100$$

donde:

a=($T_{pf} + ssa$)-($T_{pf} + sas$), expresada en g

b=($T_{pf} + sas$)- T_{pf} , expresada en g

siendo:

T_{pf} , tara del pesafiltro en g

ssa, masa de suelo seco al aire en g

sas, masa de suelo absolutamente seco en g

Por lo que finalmente decimos que:

$$W_h \% = \frac{(T_{pf} + ssa) - (T_{pf} + sas)}{(T_{pf} + sas) - T_{pf}} \cdot 100$$

Utensilios de laboratorio

- 1- Pesafiltros de cristal o cajas de aluminio con su tapa (50 mm de diámetro interior x 40 mm de altura).
- 2- Espátula o cucharilla.
- 3- Bandeja para colocar los pesafiltros o cajas de aluminio.
- 4- Vidrio reloj o cajuela de placa de rayos X.

Equipos

- 1- Balanza analítica
- 2- Estufa de 0-200°C

Tabla I. Algunos valores de humedad higroscópica en diferentes suelos

Tipos de suelo	W_h %
Ferralíticos rojos	4-8
Ferralítico rojo lixiviado	2-4
Ferralítico amarillento	<8
Pardo sin carbonatado	6-10
Pardo con carbonato	8-12
Pardo grisáceo	8-12
Oscuro plástico gleysado	10-15
Oscuro plástico no gleysado	9-14
Gley Húmico	12-16
Gley Ferralítico	5-7

Determinación de la humedad higroscópica máxima. Método de A. V. Nikolaev

Fundamentación. La humedad higroscópica máxima es muy parecida a la humedad higroscópica, solo que se encuentra en el suelo cuando el aire está saturado de vapores de agua; su determinación entre otras cosas, sirve para utilizarla en los cálculos de humedad de marchitez de las plantas y el coeficiente de marchitez; también por medio de esta determinación, se puede calcular el volumen de poros no activos. Esta humedad no es asimilable por las plantas (Kaurichev, 1984).

Técnica analítica

1. En un pesafiltro de 5 cm de diámetro y 3 cm de alto con su tapa esmerilada, secado (como mínimo 2 h) en estufa de 100-105°C, y pesado después en una balanza analítica.
2. Se pesan 10 g de suelo tamizado por tamiz de 1 mm en balanza analítica.
3. Los pesafiltros con el suelo son destapados y colocados en una desecadora, en cuyo fondo se ha vertido una solución de sulfato de potasio saturada.
4. El desecador se tapa y se coloca en un lugar oscuro o se cubre con algún material que lo proteja de la luz, con una temperatura lo más constante posible.
5. Pasados cinco o seis días, los pesafiltros se sacan del desecador, se cierran con sus tapas, se pesan en la balanza analítica y se vuelven a poner en el desecador.
6. Los controles de la masa se repiten cada tres días, hasta que los últimos pesos se diferencien entre sí, no más que en 0.02 centésimas de gramos.
7. Después de obtener la saturación máxima del suelo con la humedad vaporosa, los pesafiltros con su contenido, se secan en una estufa a la temperatura de 100-105°C, hasta que la masa no cambie (los mismos pasos que en la determinación de la humedad higroscópica).

Cálculos. Para determinar la humedad higroscópica máxima, se utiliza la misma fórmula que en la determinación de la humedad higroscópica. Con la diferencia que s_{sa} se sustituye por S_h , donde:

S_h - suelo humedecido en atmósfera saturada.

W_h - se sustituye por $W_{h\text{ máx}}$

Preparación de la solución saturada de sulfato de potasio. Para 100 mL de solución, 11-15g de K_2SO_4 . Con esta solución saturada de esta sal, se crea dentro de la desecadora una humedad relativa igual a 98-99 %.

Utensilios de laboratorio

1. Pesafiltros de 5 cm de \varnothing y 3 cm de alto con sus tapas
2. Vidrio reloj o cajuela de placa de rayos x
3. Espátula o cucharilla.
4. Manta de polietileno negro
5. Desecadora de 30 cm de \varnothing

Equipos

1. Balanza analítica
2. Estufa de 0-200⁰C

Reactivo químico

K₂SO₄ (sulfato de potasio)

Determinación de la humedad natural o de campo del suelo. Método gravimétrico

Fundamentación. Es importante conocer la humedad existente en los suelos, para la realización de determinadas labores, tales como el riego, el laboreo u otras.

También se utiliza esta determinación para los cálculos de la densidad aparente de los suelos, así como de los poros ocupados por agua.

Para determinar la humedad natural de un suelo en condiciones de campo, tomamos muestra por medio de cilindros, barrenas o cortándolas de la pared de un afloramiento, a diferentes profundidades. Posteriormente son llevadas al laboratorio, donde por medio de la evaporación del agua en la estufa, determinamos su contenido en el suelo.

En ocasiones es difícil evaluar la humedad natural por diferentes razones, entre las que se destacan las características de infiltración, variaciones en la estructura, cambios en la densidad aparente o del volumen poroso, la irregularidad del terreno y el ciclo de las lluvias o del riego (Kaurichev, 1984).

Técnica analítica

1. Para determinar la humedad de la muestra de suelo en condiciones de campo, esta se obtiene con una barrena, cortándola con un cuchillo de la pared de un afloramiento o cuando tomamos la muestra para determinar la densidad aparente, la cual se toma con una barrena especial o el cilindro característico para ella. Las muestras se toman de cada horizonte genético por separado.
2. Del horizonte arable se toma o bien una sola muestra de todo el espesor (por ejemplo 0-20cm), o bien una muestra de cada una de sus capas (0-5,5-10. 10-20). Los muestreos de los demás horizontes se hacen dentro de cada 10 cm.
3. La muestra tomada se pasa cuidadosamente a una cajita de aluminio con su tapa de 60 mm de diámetro interior y 45 mm de altura, la cual será llevada al laboratorio.
4. La cajita de aluminio con la muestra se pesa en balanza técnica (0.01 g) de precisión (la cajita de aluminio debe ser tarada previamente, como en los casos anteriores).
5. La cajita de aluminio con la muestra se coloca en la estufa de 100-105⁰C durante 8 horas como mínimo, aproximadamente 12 horas; esto se realiza para evitar las pesadas hasta pesos constante después de las cinco horas.
6. Generalmente, se dejan durante toda la noche.
7. Las cajitas de aluminio se tapan y se sacan de la estufa en grupos de 5, se refrescan dos o tres minutos y se pesan en balanza técnica.

Cálculos. Con la diferencia de que se utiliza una balanza técnica, que w_h se sustituye por w_n y que w_h se sustituye por w_n , todos los demás pasos son iguales a los utilizados en la humedad higroscópica.

Utensilios de laboratorio

1. Cajitas de aluminio (60 mm de diámetro interior y 45 mm de altura)
2. Barrena de suelo
3. Cilindro de acero
4. Cuchillo

Equipos

1. Balanza Técnica
2. Estufa de 0-200⁰C

Determinación de la composición mecánica del suelo. Método de N. A. Kachinskii

Fundamentación. El análisis mecánico o granulométrico tiene el objetivo de determinar la textura de un suelo, o sea, el tamaño de las partículas (arena, limo y arcilla), las cuales constituyen sus elementos primarios y el resultado se expresa en el porcentaje de estas fracciones y a partir de esto poder explicar su comportamiento agrícola, como la factibilidad de abastecimiento de nutrientes a las plantas, su relación agua-aire, su facilidad de laboreo y las condiciones de anclaje y penetración de las raíces, así como su clasificación y caracterización.

Por todo lo anterior es que la textura adquiere su importancia; es bueno señalar que esta propiedad no se altera fácilmente en el suelo y se considera fundamental, determinando en alto grado su valor agronómico.

El método de la pipeta de Kachinskii es uno de los más completos en el estudio de la textura de los suelos, tanto por la clasificación de las partículas como por la determinación que permite ofrecer un análisis profundo de la distribución de ellas.

En este método, en el que se dispersa la muestra con un agente químico y la aplicación de calor, se utiliza la pipeta para tomar el volumen necesario de la muestra ya dispersada, a profundidades que dicha pipeta tiene prefijadas, aplicando el principio de la ley de Stokes, en cuanto a la velocidad de caída de las partículas dentro de un líquido, teniéndose en cuenta para este análisis, la temperatura de la dispersión, la viscosidad de esta y el peso específico (densidad real) de la muestra de suelo; determinándose finalmente el porcentaje de cada fracción contenida en el suelo (Kaurichev, 1984).

Técnica analítica

1. Del frasco con suelo pasado por tamiz de 1 mm, tomamos en la balanza analítica tres muestras con una exactitud de 0.0001 g. Una de ellas se utiliza para la preparación de la suspensión; la segunda para determinar las pérdidas en su tratamiento con HCl y la tercera para la determinación de la humedad higroscópica; para la primera y segunda 10g, para la tercera 5 g.
2. Para comprobar la existencia de carbonatos, se hacen reaccionar sobre una pequeña porción del suelo, algunas gotas de HCL al 10 %. Si efervece, hay presencia de carbonatos.
3. Si hay carbonatos, las dos primeras muestras se colocan en cápsulas de porcelana o beaker y se tratan con pequeñas porciones de CIH 0.2 N para la destrucción de ellos. Esta operación se realiza hasta que no se produzcan burbujas de CO₂.

4. Después de destruidos los carbonatos, se lleva el contenido de las cápsulas o beaker al embudo con papel de filtro, tratándose al suelo con HCL 0.05 N (aproximadamente 500 mL), para desplazar de él los cationes Ca^{++} y Mg^{++} . El contenido de las cápsulas o beakers donde se determina la pérdida por HCL, se pasa al embudo con el papel de filtro tarado. Si en el suelo no existen carbonatos, inmediatamente se trata con HCL 0.05N (aproximadamente 500 mL), como se muestra en el punto siguiente.
5. Hay varias comprobaciones que se realizan para determinar si hay presencia de Ca. Pero se ha demostrado en la práctica que después de añadir o lavar con los 500 mL de HCL 0.05N, el suelo queda totalmente liberado del Ca.
6. Si el suelo no es carbonatado, se vierte directamente en el papel de filtro colocado en el embudo y se trata con 500 mL de HCl 0.05 N.
7. Se lava el filtrado con agua destilada, con el fin de eliminar el cloro contenido; después de ser aplicado el paso anterior, se realizan varias comprobaciones para determinar si el cloro ha sido eliminado, pero se ha demostrado en la práctica que después de añadir 500 mL de H_2O destilada al suelo contenido en el papel de filtro, queda libre del ión cloro.
8. El suelo con el papel de filtro tarado, después de su tratamiento con HCL y H_2O , se sitúa en un pesafiltro o cajita de aluminio tarados previamente y se seca hasta peso constante a la temperatura de 105°C (de un día para otro). Se determina la pérdida por lavado.
9. El suelo húmedo contenido en el papel de filtro no tarado, se lleva a un erlenmeyer de 1000 mL. Para esto, se utiliza un embudo de 8 cm de diámetro, mediante el cual se pasa el suelo, del papel al erlenmeyer utilizando un frasco lavador. Una parte de las partículas más pequeñas del suelo, quedan en los poros del papel de filtro. Para la extracción de estas, se humedece el papel de filtro y se exprime en una cápsula. Este líquido turbio se lleva al erlenmeyer a través de un tamiz de 0.25 mm colocado sobre el embudo (el tamiz se utiliza para retener las fibras del papel de filtro que se desprendan). El volumen del líquido en el erlenmeyer debe ser aproximadamente de 250 mL, se añade 10 mL del dispersante $\text{NaOH } 0.5\text{N}^1$. Se agita y dejar en reposo durante una hora.

¹En el original aparece, añadir 2-5 mL de Na OH (en dependencia del tipo de suelo 1 mL-10 meq de la capacidad de cambio). El álcali se añade para la dispersión del suelo. La cantidad que debe verse depende, según N.A. Kachinski, de la capacidad de absorción (para los suelos no salinos), o de la suma de cationes alcalinos-térreos absorbidos y se calcula en mililitros de NaOH por 5 g de suelos. Las razones que aproximadamente se emplean son: chernozem meridionales y ordinarios, 2.5; suelos castaños y pardos, 2; suelos grises forestales, 1.5; suelos grises, 1; suelos dermopodsólicos pesados, 0.5; suelos dermopodsólicos ligeros, 0.25; suelos solonchizos y solonetz, 1-2.5.

10. Después a los erlenmeyers que deben ser resistentes al calor, se les coloca en su parte superior (boca) un pequeño embudo, para evitar la evaporación del agua con facilidad, colocándola en una plancha de calor durante una hora a partir de que comience a hervir y agitando cada 15 minutos. Después de este proceso, el suelo queda disperso.
11. Transcurrido el tiempo de hervidura, y enfriada la muestra a temperatura ambiente, se lleva la dispersión a una probeta de 1000 mL a través de un tamiz de 0.25 mm.
12. El suelo retenido en el tamiz (partícula mayores de 0.25 mm), se lava con agua destilada utilizando el dedo, que es la forma más práctica, llevándose a una cajita de aluminio sin tapa, tarada previamente. Por decantación, se elimina el agua secándolo en la plancha de calor a una temperatura no mayor de 60°C y después en estufa a 105°C (un tiempo no menor de 8 h).
13. El volumen de la suspensión en la probeta se enrasa añadiendo agua destilada hasta 1000 mL. De aquí se toman las fracciones menores de 0.25 mm, mediante el método de la pipeta de Kachinskii. Para aplicar el método de la pipeta, primeramente debe conocerse la densidad real de cada muestra, para colocar las probetas en el orden descendente de este valor, ya que el basamento del método de la pipeta es la “Ley de Stokes”, la cual señala que la velocidad de caída de las partículas depende de la temperatura del líquido, la viscosidad de este y del peso específico de la muestra (en este caso la densidad real).
14. Las probetas deben encontrarse con respecto a la pipeta en su recorrido, de modo que la muestra sea tomada desde el centro de la suspensión.
15. Se agita la muestra cuando se desee tomar o pipetear las fracciones predeterminadas (agitador especial 30 veces en un minuto), el tiempo se toma a partir del momento que terminamos de agitar.
16. Se pueden tomar hasta seis fracciones con la pipeta de diferentes diámetros: 0.05; 0.02; 0.01; 0.005; 0.002, 0.001 respectivamente. Y generalmente se toman tres fracciones 0.02; 0.01 y 0.002, depende de la investigación.
17. La pipeta tiene cuatro graduaciones, que deben estar hechas previamente por el técnico de laboratorio a 20, 15, 10 y 7 cm de altura o profundidad en este caso.
18. Para tomar la fracción 0.02 se introduce la pipeta hasta 15 cm de profundidad, para la fracción 0.01 a 10 cm y para la fracción 0.002 a 7 cm. En el caso de pipetear 6 fracciones serían: 0.05 a 20 cm; 0.02 a 15 cm; 0.005 a 10 cm; y 0.002 y 0.001 a 7 cm de profundidad.
19. Primero se agita la muestra y se le toma el tiempo del pipeteo a partir del momento en que terminamos de agitar. El tiempo se toma teniendo en cuenta el peso específico (densidad real) y la temperatura de la dispersión en la probeta: con estos datos utilizar la tabla establecida.
20. Las fracciones pipeteadas se depositan en cajita de aluminio sin tapa, de peso conocido (o sea deben pesarse antes). Se ponen a secar en la plancha y después de 8 h en la estufa a 105°C, se pesan en balanza analítica y se realizan los cálculos.
21. Para calcular se debe conocer el porcentaje de humedad de la muestra.

Cálculos

% P/L = % pérdida por lavado

PSS = Peso de suelo seco

F = Factor

W = % de humedad

Dif = Diferencia

$$PSS = \frac{1000}{100 + W}$$

Dif. = peso papel de filtro con muestra seca-peso papel de filtro vacío

$$P/L = \frac{PSS - Dif}{PSS} \times 100$$

$$F = \frac{\text{volumen probeta/volumen pipeta}}{PSS}$$

$$\% \text{ arena} = \frac{Dif}{PSS} \times 100$$

Dif = Peso cajita con muestra - peso cajita vacía

Para las fracciones pipeteadas (en el caso de tres fracciones):

Fracciones	0.02	0.01	0.002
No. cajita+muestra	A	B	C
No. cajita vacía	D	E	F
Diferencia	X	Y	Z

Para obtener los gramos de cada diámetro:

$$X - Y = H$$

$$Y - Z = I$$

$$Z = Z$$

Para obtener los porcentajes de cada diámetro de partículas:

$$H \times F \times 100$$

$$I \times F \times 100$$

$$Z \times F \times 100$$

Finalmente se suman todas las fracciones halladas (esta no debe ser mayor de 100):

% P/L + % arena + % (0.02) + % (0.01) + % (0.002) y % fracción por diferencia.

Se resta de 100 el total (sumatoria) y el valor obtenido es la fracción por diferencia de partículas de arena fina; o sea, cuando se pipetea tres fracciones se obtienen en total seis fracciones de partículas en por ciento.

En caso de pipetear seis fracciones, el cálculo sería el mismo, lo que varía es el número de operaciones (resta y multiplicación) y el número de fracciones de partículas final, que serían 9:

% P/L, % de arena, % (0.05), % (0.02), % (0.01), % (0.005), % (0.002), % (0.001) y % fracción por diferencia.

Preparación de las soluciones utilizadas para el método de Kachinskii

HCL 4N - Se parte de HCL 12N

$$N_2 \cdot V_2 = N_1 \cdot V_1$$

$$12 \cdot V = 4 \cdot 1000.$$

$$V = \frac{4 \cdot 1000}{12} = 333 \text{ mL}$$

Se toman 333 mL de HCL 12 N, se vierten en un volumétrico de 1000 mL y se enrasan con agua destilada.

- HCL 0.05 N

$$NV = N_1 V_1$$

$$4 \cdot V = 0.05 \cdot 1000$$

$$V = \frac{0.05 \cdot 1000}{4} = 125 \text{ mL}$$

125 mL de HCL 4N en volumétrico de 1000 mL y se enrasa con H₂O destilada.

- HCL 0.2 N

$$NV = N_1 V_1$$

$$4 \cdot V = 0.2 \cdot 1000 \text{ mL}$$

$$V = \frac{0.2 \cdot 1000}{4} = 500 \text{ mL}$$

500 mL de HCL 4N en volumétrico de 1000 mL y se enrasa con H₂O destilada.

- Hidróxido de sodio (NaOH) 0.5N.

$$\text{NaOH- } 0.5 \text{ N} \times = \frac{40\text{g} \cdot 0.5\text{N}}{1\text{N}} = 20\text{g}$$

1N - 40g

0.5 - X

20 g de NaOH se vierten en un volumétrico de 1000 mL, se disuelven en H₂O destilada y se enrasan.

Utensilios de laboratorio

1. Cápsulas de porcelana pequeñas
2. Embudos medianos
3. Elermeyer de 1000 mL
4. Probetas de 1000 mL
5. Recipientes para agua destilada
6. Recipiente para solución ácida
7. Papel de filtro (filtración rápida)
8. Frasco lavador
9. Tamiz de 0.25 mm
10. Agitador especial para las probetas (varilla metálica a la que se suelda en su extremo, una placa metálica circular, con varias perforaciones, las cuales permiten el paso de la dispersión a través de ellas)
11. Pipeta de Kachinskii
12. Cajita de aluminio (50 mm de diámetro interior y 40 mm de altura).
13. Recipiente para solución de OHNa 0.5 N
14. Termómetro de escala 0-100°C
15. Cronómetro

Equipos

1. Balanza analítica
2. Plancha de calor
3. Estufa de 0-200°C

Reactivos

1. HCl, P. A.
2. OHNa, P. A

Método de Bouyoucos, densímetros de sedimentación continua. Modificado por Frómata (1996)

Fundamentación. Este método, como el de Kachinskii, también utiliza agentes químicos como dispersantes, pero no utiliza calor. Difiere del anterior en la forma de determinar la composición mecánica del suelo. 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.

Técnica analítica

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 ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O} + \text{Na OH}$) (1).
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 paletas durante 1h.
4. Después la dispersión contenida en el beaker o frasco se transfiere completamente a una probeta, utilizando un frasco lavador con H_2O destilada, se introduce el hidrómetro en la probeta y continuamos añadiendo H_2O 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.
 - a. 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:
 - 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

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

Después de llevar la dispersión al volumen requerido, se saca el hidrómetro de la probeta o el densímetro de grados Brix, escala 0-10 (Luis, 2001).

7. Se tapa cuidadosamente con la palma de la mano y debe agitarse invirtiéndola varias veces (3-4), colocándola enseguida sobre la meseta, 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 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 y 16 minutos.
10. Se saca el hidrómetro o el densímetro de grados Brix, escala 0-10 (Luis, 2001). Sin perturbar el contenido de la probeta y esperar una hora exacta 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.

Cálculos

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

Ej: Para 50 g de suelos

En la 1^{ra} lectura: 40 segundos

- El hidrómetro me indica una lectura de 40
- La temperatura de la dispersión 28°C
- Factor de corrección 0.36
- Por 2 para llevar a 100 g

$$[(28-19.4) * 0.36 + 40] * 2 =$$

$$[(8.6 * 0.36) + 40] * 2 =$$

$$[3.1 + 40] * 2 =$$

$$43.1 * 2 = 86.2 \%$$

Por lo que ya sabemos de la ley de Stokes, las primeras que sedimentan a los 40 segundos, son las partículas de arena gruesa.

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

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

$$A_g = 13,8 \%$$

A_f → arena fina

L_g → limo grueso

L_f → limo fino

A_{rc} → arcilla

Estas fracciones las vamos calculando de la misma forma, teniendo en cuenta que el hidrómetro está influido por las partículas que están en suspensión.

Al valor total que queda del cálculo anterior, le vamos restando el valor total calculado en la próxima lectura y así sucesivamente, vamos 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.

- El hidrómetro me indica una lectura de 38
- La temperatura de la dispersión 28°C
- Factor de corrección 0.36
- Por 2 para llevar a 100 g

$$[(28 - 19.4) * 0.36 + 38] =$$

$$[(8.6 * 0.36) + 38] * 2 =$$

$$[3.1 + 38] * 2 =$$

$$41.1 * 2 = 82.2$$

$$A_f = 86,2 - 82.2 = 4,0 \%$$

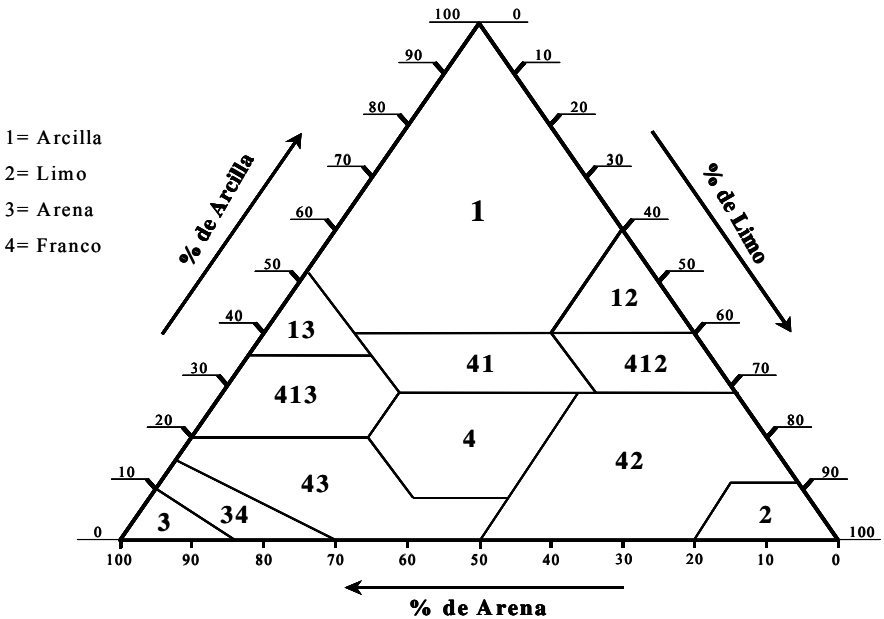
$$A_f = 4,0 \%$$

Continuamos de esta forma hasta llegar al cálculo final que es el de la arcilla. 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.

Clase textural del suelo. Después que determinamos la composición mecánica o granulométrica de un suelo, por cualquiera de los métodos descritos anteriormente, llevamos estos valores al triángulo textural y determinamos su grupo textural. En general tenemos tres valores, los porcentajes de arcilla, limo y arena. Se toman dos de estos tres valores. Se sitúa un valor en el lado del triángulo correspondiente a la arena y se tira una paralela al lado de la derecha (limo). Colocamos el siguiente valor en otro lado del triángulo (arcilla) y volvemos a tirar otra paralela al lado que queda a la derecha (arena), de modo que se relacionan entre sí los tres lados del triángulo.

El nombre del compartimento donde se interseccionan las dos líneas paralelas es el nombre de la clase textural del suelo investigado.

Triángulo Textural (Soil Survey Staff, 2003)



- ♣ Para que el suelo sea arenoso, este debe tener más del 70 % de la fracción mineral arena.
- ♣ La fracción limo predomina en sus características, cuando está contenida en el suelo por más del 80 % en peso y el de arcilla menor del 12 %.
- ♣ Para que el suelo sea arenoso, este debe tener más del 70 % de la fracción mineral arena.
- ♣ Un suelo es arcilloso, cuando tiene más de 40 % de esta y debe tener menos de 45 % de arena así como menos del 40% de limo.

Preparación de las soluciones. Existen varias soluciones dispersantes como las del silicato de sodio, oxalato de amonio, entre otras.

Por lo general se preparan utilizando el propio hidrómetro de Bouyoucos, añadiéndose el reactivo al agua destilada y disolviendo hasta que este marque 36⁰ (aproximadamente 40g/L) de estos reactivos.

En nuestro caso la solución que se utiliza es la siguiente:

40 g de $\text{NaP}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ Pirofosfato de sodio decahidratado

4 g de NaOH Hidróxido de sodio

Disolver y enrasar a 1000 mL con H_2O destilada

Utensilios de laboratorio

1. Probetas de 1000 mL
2. Beaker de 400 mL o frascos de 8 onzas de boca ancha
3. Hidrómetro de Bouyoucos o Densímetro de Grados Brix escala (0-10). Para la conversión de grados Brix a Hidrómetro de Bouyoucos, consultar la Tabla del Anexo 1.
4. Frasco lavador
5. Termómetro de escala (0-100°C)
6. Cronómetro

Equipos

1. Agitadores verticales de paletas
2. Balanza técnica

Reactivos

1. $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ P.A.
2. OHNa P.A.

Análisis granulométrico de los microagregados del suelo. Métodos de N. A. Kachinskii y de Bouyoucos

Fundamentación. La determinación de la composición de microagregados del suelo, revela en qué tamaño de partículas se encuentra la formación de estos y, además, el factor de dispersión del suelo.

El método de la pipeta de Kachinskii se fundamenta en la extracción de las partículas, sin añadir reactivos químicos y sin utilizar calor. De esta forma los microagregados al no ser destruidos, se extraen como tales en diferentes tamaños de partículas. En el método de Bouyoucos, la diferencia consiste en que esta determinación, que tampoco usa agentes dispersantes, utiliza la sedimentación continua de los diferentes tamaños de partículas (microagregados) con el uso del densímetro de Bouyoucos. El principio para ambos es el mismo de la diferencia de la velocidad de caída de las partículas en un líquido (ley de Stokes) explicada en las determinaciones de la composición mecánica (Kaurichev, 1984).

Técnica analítica

1. Se toma una muestra de 10 g de suelo pasado por tamiz de 1 mm, se sitúa en un frasco preferiblemente plástico de 500 mL y con boca ancha.
2. Se añaden 250 mL de agua destilada y lo dejamos en reposo durante 12 horas para su humedecimiento (de un día para otro).
3. Después de esto, el frasco con tapa se sitúa en el agitador horizontal durante 2 h a 60 rp.m. (60 oscilaciones por minuto).
4. El contenido del frasco se pasa por un tamiz de 0.25 mm colocado en una probeta de 1000 mL, continuando igual que en el método de la pipeta de Kachinskii, incluyendo los cálculos.
5. Para realizar esta determinación por el método de Bouyoucos, en el aspecto no. 1 en vez de añadir 10 g, añadimos 50 g de suelo, todo lo demás sigue igual y al pasarlo para la probeta de 1000 mL, no se utiliza tamiz de 0.25 mm. Los demás pasos siguen igual que el método de Bouyoucos para la composición mecánica, incluyendo los cálculos.

Determinación del coeficiente de dispersión Cd

$$Cd = \frac{\% A_{mc}}{\% A_{am}} * 100$$

% A_{mc} → porcentaje de arcilla en la microestructura.

% A_{am} → porcentaje de arcilla en el análisis mecánico.

100 (en %)

Cd → Se expresa en porcentaje

Cuando tenemos altos valores de este coeficiente en por ciento, podemos plantear que el suelo está muy disperso y tiene un alto grado de degradación.

Microestructura. Método de Kachinskii

Utensilios de laboratorio

1. Frascos plásticos de 500 mL de boca ancha
2. Tamiz de 0.25 mm
3. Probetas de 1000 mL
4. Pipeta de Kachinskii
5. Frasco lavador
6. Cajitas de aluminio pequeñas sin tapa
7. Agitador especial para las probetas
8. Vidrio reloj o cajuela de placas de rayos X

Equipos.

1. Balanza analítica
2. Agitador horizontal
3. Plancha de calor
4. Estufa de 0-200°C

Microestructura. Método de Bouyoucos

Utensilios de laboratorio

1. Frascos plásticos de boca ancha de 500 mL
2. Hidrómetro de suelo o densímetro de grados Brix a escala 0-10 (consultar Anexo 1)
3. Vidrio reloj o recipiente para pesar el suelo
4. Probetas de 1000 mL
5. Frasco lavador
6. Tapones de goma para los frascos plásticos
7. Termómetro de escala 0-100°C
8. Cronómetro

Equipos

1. Balanza técnica
2. Agitador horizontal

Análisis de los agregados del suelo. Método de N. I. Savvinov

Fundamentación. La estructura del suelo está formada por agregados y estos, a su vez, por microagregados o elementos estructurales de distinto tamaño, forma, porosidad, resistencia mecánica y resistencia al agua. Es la forma en que estos elementos constituyentes del suelo, tienden a unirse entre ellos.

En este método se evalúa la estabilidad de los diferentes agregados del suelo, según su tamaño, teniendo en cuenta los siguientes diámetros de los agregados, sobre la base de los juegos de tamices correspondientes: 10, 7, 5, 3, 2, 1, 0.5, 0.25 mm (los más importantes para la agricultura) y el fondo con los menores de 0.25 mm.

Se determina mediante tamizado en seco y en húmedo, la proporción en porcentaje de agregados, para las dos condiciones, lo cual permite hacer una interpretación integral de la estructura del suelo. Este análisis es de mucho interés, entre otras cosas, porque basándose en sus resultados, el agricultor puede realizar sus actividades agrícolas, tales como laboreo, riego, conservación del suelo y otros, en óptimas condiciones, sin dañar, perjudicar o incluso mejorando la estructura del suelo (Kaurichev, 1984).

Este análisis comprende:

1. La determinación del contenido de agregados de distinto tamaño dentro de los límites de 0.25 -10 mm;
2. La determinación del contenido de agregados resistentes al agua en las fracciones separadas.

Técnica analítica

Tamizado en seco. En primer lugar, de la muestra de suelo tal como se preparó, se toman 0.5 kg pesados en balanza técnica, y se tamizan a través de una columna de mallas con diámetros de 10, 7, 5, 3, 2, 1, 0.5 y 0.25 mm. Estos juegos de tamices colocados en el vibrador deben tener una bandeja colectora para la fracción menor de 0.25 mm y una tapa para evitar la pulverización del suelo al tamizar. Para realizar este tamizado, el vibrador se trabaja con su media potencia (el botón del reóstato señalando el no. 6), y con un tiempo de duración de cinco minutos. En el tamizado se deben evitar sacudidas fuertes. Al separar las mallas, estas se golpean ligeramente con la mano, para que se separen los agregados atascados.

En segundo lugar, los agregados de las mallas se recogen en diferentes recipientes, se pesan en balanza técnica y se calcula su valor en porcentaje de la masa del suelo secado al aire. El peso en gramos de cada fracción se divide entre 5 y se obtiene el valor en porcentaje.

Tamizado en húmedo

1. Para la determinación de la estabilidad estructural de las fracciones tamizadas en seco, se toman porciones de suelo hasta obtener una muestra media de casi 50 g. La cantidad de suelo (g), tomado de cada fracción, corresponde a la mitad del contenido (%), de una fracción dada en el suelo analizado. Las pesadas se realizan con balanza técnica de 0.01 g de precisión. Por ejemplo, si la fracción de 3-2 mm resulta un 20 %, entonces la muestra media a tomar sería de 10 g. Con el fin de que las mallas inferiores no se atasquen, en la muestra no se incluye la fracción <0.25 mm y por eso, el peso no llega a 50 g. Pero en el cálculo el contenido de fracciones estables en por ciento se realiza sobre la base de 50 g.
2. Se prepara un juego de tamices con orificios de 5, 3, 2, 1, 0.5 y 0.25 mm; estos se colocan en un saco de malla de nylon.
3. Se introducen en un tanque de 55 galones con agua, de modo que por encima del borde superior del juego de tamices, haya una capa de agua de 10 cm como mínimo.
4. La muestra media cuidadosamente la situamos en una probeta de 500 mL, que contenga $\frac{2}{3}$ de su volumen de agua. Se deja en reposo durante 10 minutos con el objetivo de eliminar todo el aire existente en los agregados y entre ellos. Para acelerar este proceso, a los dos minutos de haber situado el suelo en la probeta, se tapa y cuidadosamente se pone en posición horizontal y de nuevo se regresa a su posición inicial. Esta operación se repite dos veces.
5. A los 10 minutos se completa con agua la probeta hasta el tope, la tapamos con la palma de la mano y la invertimos, manteniéndola en esa posición algunos segundos, de tal forma que la mayor parte de los agregados lleguen al fondo. De nuevo se coloca en la posición inicial y esperamos que el suelo traslade la parte inferior.
6. Después de repetir el procedimiento cinco veces, se sitúa la probeta tapada sobre el juego de tamices, el cual se pondrá en un tanque con agua (ya se explicó anteriormente).
7. La capa de agua debe sobrepasar en 10 cm el tamiz superior.
8. Rápidamente se abre la probeta y con movimientos ligeros se distribuye el suelo por la superficie del tamiz.
9. Pasados 50-60 segundos, cuando todos los agregados mayores de 0.25 mm hayan caído en el tamiz, extraemos la probeta del agua. Los agregados de 0.25 mm que quedan en la probeta no es necesario conservarlos.
10. Se levanta lentamente el juego de tamices 5-6 cm y se introducen bruscamente a la misma profundidad. Se esperan 2-3 segundos a que los agregados caigan sobre el fondo. Esta operación la repetimos 10 veces.
11. Después se extrae lentamente el juego de tamices del tanque, para que escurra el agua contenida.

12. Se pasa el contenido del tamiz a una cápsula de porcelana, aplicando agua con una manguera de 8 mm que se acopla a una llave; después se decanta el agua del suelo y se lleva a una cajita de aluminio sin tapa por medio de un frasco lavador. Se decanta de nuevo y se evapora el agua en la plancha de calor.
13. El contenido de las fracciones se puede calcular en base al suelo seco al aire. En este caso, después de evaporada el agua en la plancha, se deja el pesafiltro con los agregados al aire libre y después de refrescarse de 2 a 3 minutos, lo pesamos.
14. En el cálculo, el peso de cada fracción en gramos, se multiplica por 2 y se obtiene el contenido en porcentaje de los agregados estables en el suelo. La fracción menor de 0.25 mm se calcula por diferencia.

Cálculo

Tamizados en seco. El contenido de los agregados en por ciento se calcula por la fórmula:

$$X = \frac{a * 100}{b}$$

Ejemplo: $a = 20 \text{ g}$ $X = \frac{20 * 100}{b = 500} = 4 \%$

100 (en %).

Donde: $X \rightarrow$ contenido de los agregados de un tamaño determinado en %

$a \rightarrow$ peso de los agregados en gramos

$b \rightarrow$ peso de la muestra tomada para el análisis

100 \rightarrow para expresar en %

Resumiendo: Se divide el peso en gramos de cada fracción de agregados entre 5 y se obtiene el porcentaje de cada una de ellas.

Cálculos

Tamizado en húmedo. El contenido de los agregados, después de la prueba de estabilidad en agua, expresado en por ciento, lo calculamos por la fórmula:

$$Y = \frac{b * 100}{C} \quad Y = \frac{15 * 100}{50} = 30\%$$

Ejemplo: $b = 15 \text{ g}$

$c = 50 \text{ g}$

100 (en %)

Donde: Y → contenido de los agregados estables al agua en %

b → peso de los agregados en gramos

c → peso de la muestra tomada para el análisis

100 → para expresarlo en porcentaje

Para cada suelo estudiado la determinación debe realizarse triplicada

Resumiendo: Si multiplicamos el contenido en gramos de cada fracción de agregados por 2, obtenemos el porcentaje de cada una de ellas estable al agua.

Modelo de representación de los datos

Nombre del suelo	Horizonte genético profundidad de la obtención de la muestra (cm)	Tamaño de los agregados (mm) y contenido de estos (por ciento de la masa del suelo secado al aire)								
		Tamizado en seco								
		>10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0.5	0.5-0.25	<0.25
Nombre del suelo	Horizonte genético profundidad de la obtención de la muestra (cm)	Tamaño de los agregados (mm) y contenido de estos (por ciento de la masa del suelo secado al aire)								
		Tamizado en húmedo								
		>5	5-3	3-2	2-1	1-0.5		0.5-0.25	<0.25	

Existen otros métodos de laboratorio, para realizar el análisis de los agregados del suelo.

Tabla II. Apreciación del estado estructural del suelo

Contenido de agregados de 0.25-10 mm por ciento de la masa de suelo seco al aire)		Apreciación del estado estructural del suelo
Tamizado en seco	Tamizado en húmedo	
80	>70	Excelente
80-60	70-55	Bueno
60-40	55-40	Satisfactorio
40-20	40-20	No satisfactorio
<20	<20	Malo

Otras apreciaciones.

$$K_{es} = \frac{\Sigma \% Ag \ 0.25-10}{\% Ag > 10 + < 0.2}$$

$K_{es} >$ valor mejor estructura

Mientras mayor sea K_{es} mejor es la estructura

$$K_{eh} = \frac{\% Ag < 0.25}{\Sigma \% Ag > 0.25}$$

$K_{eh} <$ valor mejor estructura

Mientras menor sea K_{eh} mejor es la estructura

$$I_e = \frac{\Sigma \% Ag > 0.25 (T_h)}{\Sigma \% Ag > 0.25 (T_s)}$$

$I_e <$ más estabilidad.

Mientras menor sea I_e mayor es la estabilidad

Kes → Coeficiente de estabilidad en seco

Keh → Coeficiente de estabilidad en húmedo

Ie → Índice de estabilidad estructural

Th → Tamizado en húmedo

Ts → Tamizado en seco

Existen otras apreciaciones, para las que se debe consultar al especialista.

Utensilios de laboratorio

1. Cajas de aluminio (60 mm de diámetro interior y 45 mm de altura) sin tapas
2. Juegos de tamices de 0.25, 0.50, 1, 2, 3, 5, 7 y 10 mm
3. Manguera de goma de 8 mm con aditamento para acoplar a la llave de agua
4. Cápsula de porcelana mediana
5. Frasco lavador de 500 mL
6. Cronómetro o Timer

Equipos

1. Balanza técnica
2. Vibrador para suelos
3. Calculadora
4. Cronómetro o Timer

Determinación de la densidad de la fase sólida o densidad real del suelo. Método picnométrico en agua

Fundamentación. Como cuerpo físico, el suelo se compone de tres fases: sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida está representada por minerales y sustancias orgánicas; la líquida, por agua y compuestos disueltos en ella (solución de suelo) y la gaseosa, por el aire del suelo, más los vapores de agua existentes.

Este es un método de expresión del suelo y lo constituye la densidad de las partículas sólidas que lo componen.

A la relación existente entre la masa del suelo seco y la masa de igual volumen de agua, se le llama densidad de la fase sólida del suelo (densidad real). En ocasiones hay autores que la tratan como peso específico.

Con el conocimiento de la densidad de la fase sólida, la que se expresa en $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, podemos calcular la porosidad del suelo; además, nos indica la relación entre la parte mineral y la orgánica, orientándonos sobre el contenido de estas en el suelo.

También se utiliza como otro de los parámetros establecidos, en la aplicación del método de la pipeta de Kachinskii, para la determinación de la composición mecánica del suelo, así como de la microestructura.

Para calcular la densidad real del suelo, es necesario determinar con exactitud el volumen de la parte sólida. En nuestro caso, para esta determinación se utiliza el método picnométrico, el cual está basado en el principio de exclusión de las sustancias. Esto quiere decir que cuando un sólido se sumerge en un recipiente lleno de agua destilada, la cantidad de agua desplazada es igual al volumen de la parte sólida sumergida (Kaurichev, 1984).

Técnica analítica

1. Tara del picnómetro, se lava bien (si es preciso con mezcla sulfocrómica, luego con detergente y agua), endulzándolo finalmente con agua destilada y se seca en la estufa a 60° , aproximadamente 2 h.
2. Después de seco, se pasa de la estufa para una desecadora, se refresca y se pesa en balanza analítica.
3. Volumen del picnómetro, consiste en llenarlo con agua destilada, se tapa desplazando por el capilar de la tapa el agua en exceso, se deben secar sus exteriores con un paño limpio y se pesa en balanza analítica; se debe tomar la temperatura, para determinar en la tabla de densidades, la densidad del agua a esa temperatura.
4. Se vierte el contenido del picnómetro y se seca; idem a la determinación de la tara.
5. Al picnómetro seco, se le añaden 5 g de suelo pasado por tamiz de 1 mm, pesado en balanza analítica.

6. Posteriormente se le añade agua destilada hasta que el volumen del suelo con agua ocupe $\frac{1}{3}$ a $\frac{1}{2}$ del volumen del picnómetro; el contenido se agita circularmente con la mano y se deja en reposo durante 12 horas, para que el espacio poroso del suelo sea ocupado por el agua. Esta agua destilada debe ser hervida anteriormente a su uso, de forma tal que evapore una $\frac{1}{10}$ parte de su volumen, para eliminar el CO_2 que pueda contenerla.
7. Se elimina el aire del suelo para esto los picnómetros con agua y suelo que estuvieron durante 12 horas de reposo (de un día para otro), se colocan en una desecadora conectada a una bomba de vacío y se les hace vacío durante 20 minutos, se dejan en reposo 20 minutos y finalmente se le hace vacío durante 20 minutos más. Todo el proceso dura una hora y así queda eliminado el aire contenido en la muestra. En caso de no existir condiciones para lo anterior, puede hervirse el contenido de los picnómetros en una plancha de calor, agitando la muestra y evitando que se derrame el contenido; después se debe dejar enfriar.
8. Después de extraído el aire, se añade cuidadosamente al picnómetro agua destilada hervida, de forma que corra por las paredes de este, para evitar que se produzca turbidez en el fondo del recipiente, hasta el inicio de la parte esmerilada; se deja en reposo hasta eliminar turbidez, luego se termina de llenar, se tapa, se seca bien con un paño limpio y se pesa en una balanza analítica. El capilar de la tapa debe quedar lleno de agua, para que no se altere el volumen del picnómetro, o sea, que esta agua contenida en dicho capilar forma parte del volumen del picnómetro. Después se seca bien y se pesa el picnómetro. La densidad del líquido varía con la temperatura (ver recuadro más abajo). La temperatura del picnómetro con agua y suelo debe ser igual a la del picnómetro con agua solamente, ya que la densidad del agua, como es conocido, varía con la temperatura. De no hacerse de esta forma, estaríamos introduciendo un error en el cálculo de la densidad real. Este análisis se hace duplicado: la diferencia entre la densidad real de ambas muestras no debe ser mayor de 0.02. Es necesario realizarlo por duplicado, para confirmar los valores obtenidos, los cuales son muy sensibles a las fallas existentes en las operaciones de manipulación realizadas en el laboratorio.

Cálculos

$$\text{Dr} = \frac{\text{Peso absolutamente seco}}{\text{Volumen del suelo}} = \frac{P_2}{V} = \text{densidad real}$$

$$V_2 = \text{Volumen del picnómetro} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{densidad}}$$

$$\text{Peso del agua} = \text{Peso picnómetro con agua} - \text{tara del picnómetro (P)}$$

$$P_2 - \text{Peso del suelo absolutamente seco} = \frac{P_1 - P}{100 + W_h} * 100$$

P_1 → Peso del picnómetro + suelo seco al aire

W_h → Humedad higroscópica

V_1 → Volumen del agua

P → Tara del picnómetro

$$V_1 = \frac{P_3 - (P + P_2)}{\text{densidad}}$$

P_2 → Peso del suelo absolutamente seco

P_3 → Peso picnómetro + suelo + agua

V → Volumen del suelo

$$V = V_2 - V_1$$

V_2 → Volumen del picnómetro

V_1 → Volumen del agua

$$Dr = \frac{P_2}{V}$$

Densidades del agua a diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	Densidad (mg.m ⁻³)
15	0.99913
16	0.99897
17	0.99880
18	0.99662
19	0.99843
20	0.99823
21	0.99802
22	0.99780
23	0.99757
24	0.99733
25	0.99708
26	0.99682
27	0.99653
28	0.99627
29	0.99598
30	0.99568

Modelo de representación de datos de la densidad real

No. experimento	No. muestra	No. picnómetro	1*	2	3	4	5*	6*	7	8*	9	10	11
-----------------	-------------	----------------	----	---	---	---	----	----	---	----	---	----	----

- 1*-Tara para picnómetro (P)
- 2*-Peso picnómetro + agua
- 3*-Densidad del agua
- 4 -Volumen del picnómetro V_2
- 5*-Porcentaje de humedad higroscópica (W_h)
- 6*-Peso del picnómetro+suelo seco al aire (P_1)
- 7 -Peso del suelo absolutamente seco (P_2)
- 8*-Peso del picnómetro+suelo+agua (P_3)
- 9 -Volumen del agua (V_1)
- 10-Volumen del suelo (V)
- 11-Densidad real (Dr)

* Valores que se obtienen por pesadas o de otras determinaciones

Resumiendo: Para simplificar los cálculos al técnico que realiza esta determinación:

$$4 = \frac{2-1}{3}$$

$$7 = \frac{6-1}{100 + W_h} * 100$$

$$9 = \frac{8-7-1}{3}$$

$$10 = 4-9$$

$$11 = \frac{7}{9}$$

Algunas apreciaciones sobre la densidad real del suelo

- Para la mayoría de los suelos el valor de la densidad real está en el orden de 2.50 - 2.65 mg.m⁻³.
- El contenido de materia orgánica en los suelos influye en el valor de la densidad real, disminuyéndola, en ocasiones varias décimas.
- La capa arable de los suelos minerales, con un contenido de materia orgánica menor del 3 % tiene comúnmente de 2.60-2 mg.m⁻³ de densidad real.
- Algunos suelos esqueléticos pueden poseer una densidad real de 3.0 mg.m⁻³
- Los suelos Ferralíticos Rojos compactados de la finca Las Papas están en el orden de los 2.75 mg.m⁻³.

Utensilios de laboratorio

1. Piconómetro de 50 mL
2. Erlenmeyer resistente al calor de 1000 mL
3. Recipiente para agua destilada
4. Recipiente para agua destilada hervida
5. Paño
6. Espátula o cucharilla
7. Frasco lavador
8. Desecadora de 30 cm de Ø
9. Vidrio reloj o cajuela de placa de rayos X
10. Termómetro de escala 0-100°C

Equipos.

1. Balanza analítica
2. Plancha de calor o mechero de gas
3. Termómetro 0-100°C
4. Bomba de vacío

Determinación de la densidad del suelo o densidad aparente, utilizando una muestra de estructura no alterada

Fundamentación. La densidad aparente se define como la masa de sólidos del suelo entre el volumen total que este ocupa (incluyendo el volumen de poros). Como el volumen total del suelo no es una constante, se habla de densidad aparente refiriéndose siempre el volumen a una determinada humedad. Recordemos que en la determinación de la fase sólida del suelo, no se consideraba la parte porosa.

D_a = densidad aparente de un suelo ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) a la humedad “ W_n ”

Según los métodos de laboratorio para la “Soil Taxonomy”, la densidad se determina en suelos de textura gruesa a 10 Kpa (1/10 bar) de tensión y después de seco a estufa; y en texturas medias y finas a 33 Kpa (1/3 bar) y a suelo seco a estufa, utilizando el método de la Resina Saran.

Método	Observaciones
Cilindro de volumen conocido	La muestra extraída no es completamente inalterada, se produce compresión con los bordes del cilindro. Se dificulta el empleo si el terreno es muy arenoso, pedregoso o está muy duro.
Resina Saran	Utiliza un agregado estructural grande. La resina Saran es permeable al vapor de agua, lo cual permite determinar la densidad a diferentes humedades: 10 kPa, 33 kPa y seco a estufa (105°C)

La densidad aparente para un mismo suelo siempre es menor que la densidad real. Su valor depende de la composición mecánica, la estructura y el contenido de materia orgánica del suelo.

Este método está fundamentado en la determinación de la densidad aparente a una muestra de suelo de volumen conocido, tomada en el campo por medio de un cilindro o barrena portadora de un cilindro metálico de volumen predeterminado (Fernández y Luis, 1994), en el cual es conformada para secarla en la estufa; posteriormente se pesa y este valor sobre el volumen conocido nos da el valor de la densidad aparente.

Técnica analítica

1. La caja de aluminio en el laboratorio se pesa en balanza técnica con una exactitud de 0.01 g. Esta misma muestra sirve para determinar la humedad en condiciones de campo.
2. Las cajas de aluminio se colocan en la estufa a 105°C, se siguen los mismos pasos que en la determinación de la humedad de campo o natural.
3. Después se realizan los cálculos para determinar la densidad del suelo.

Cálculos

$$D_a = \frac{M_{as}}{V}$$

D_a → Densidad aparente $mg.m^{-3}$

M_{as} → masa de suelo absolutamente seco

V → volumen del cilindro 100 cm^3

T_{pf} → Tara del pesafiltro de aluminio (caja de aluminio)

$M_{as} = (M_{sas} + T_{pf}) - T_{pf}$

$$D_a = \frac{(M_{sas} + T_{pf}) - T_{pf}}{100} \quad mg.m^{-3}$$

Tabla III. Apreciación cualitativa de la densidad de los suelos de composición mecánica arcillosa y arcillo-arenosa

Densidad del suelo ($mg.m^{-3}$)	Apariencia cualitativa
<1	Esponjoso o rico en materia orgánica
1.0 - 1.1	Valores típicos de suelos arables recientemente labrados
1.2	Campo labrado compactado
1.3 - 1.4	Campo labrado muy compactado
1.4 - 1.6	Valores típicos bajo los horizontes arables
1.6 - 1.8	Horizontes inferiores muy compactados

También se puede plantear que la densidad aparente de modo general atendiendo a la textura, alcanza los siguientes valores:

- ☞ Suelos arcillosos $0.90 - 1.20\text{ mg.m}^{-3}$ (dentro de estos parámetros están los suelos de la finca Las Papas $0.95 - 1.1\text{ mg.m}^{-3}$)
- ☞ Suelos arenosos $1.20 - 1.60\text{ mg.m}^{-3}$

Utensilios de laboratorio

1. Cajitas de aluminio (60 mm de diámetro interior y 45 mm de altura) con tapa
2. Maleta de madera para el traslado de las cajitas de aluminio al laboratorio

Equipos

1. Balanza técnica
2. Estufa de $0-200^\circ\text{C}$

Determinación de la densidad del suelo o densidad aparente, utilizando una muestra de estructura alterada

Fundamentación. El fundamento del método es el mismo que en el caso de la determinación, para las muestras no alteradas. Pero en este caso la determinación no se realiza a muestras de suelo en estado natural. Las muestras son preparadas en el laboratorio y por lo tanto resulta alterada su estructura.

Este método no da una idea exacta de la densidad del suelo en su estado natural, pero en algunas ocasiones es utilizado en diferentes estudios que lo permiten (Kaurichev, 1984).

Técnica analítica

1. En el fondo de un cilindro de 100 cm^3 se pone un pedazo de papel de cualquier tipo, en el cilindro se agrega una muestra de suelo no triturada, aprisionándola a medida que se vierte golpeando el fondo del cilindro con la mano. El suelo se va añadiendo hasta que llegue a ras con el borde superior del cilindro y se allana con un cuchillo.
2. La muestra se pasa completamente al papel y de este a la caja de aluminio, previamente tarada.
3. La caja de aluminio con la muestra se pesa en balanza técnica con una exactitud de 0.01 g y se coloca en una estufa a 105°C durante ocho horas como mínimo; todos los demás pasos siguen como en la determinación de la humedad natural en las condiciones de campo y se calcula la densidad en la muestra como en el caso de la muestra con estructura no alterada.

Utensilio de laboratorio

1. Pesa filtro (60 mm de diámetro interior y 45 mm de altura)

Instrumentos

1. Cilindro para toma de muestra de 100 cm^3
2. Papel común
3. Cuchillo mediano

Equipos

1. Balanza técnica
2. Estufa de $0\text{-}200^\circ\text{C}$

Determinación de la porosidad del suelo

Fundamentación. Los espacios entre los elementos mecánicos y agregados del suelo se llaman poros. En ellos se encuentran: agua, aire, vapor de agua, microorganismos y raíces de las plantas. La porosidad es el volumen total de poros en la unidad de volumen del suelo. Las determinaciones de las porosidades (total, poros ocupados por agua y poros de aireación), se basan en la utilización de los valores de la densidad real, la densidad aparente y la humedad natural para poder realizar sus cálculos.

Los poros ocupados por agua (poros capilares), desde el punto de vista agronómico, nunca deben tener un porcentaje en volumen menor del 20-25 % del volumen total de poros.

La porosidad de aireación (poros no capilares), desde el punto de vista agronómico, debe estar entre $1/3$ - $1/2$ en por ciento del volumen total de poros.

Cuando estas porosidades están entre los valores indicados anteriormente, hay un equilibrio entre ellas, que benefician a los cultivos.

Cuando el suelo tiene el máximo de poros ocupados por agua y su porosidad de aireación no alcanza el valor indicado, este suelo requiere de diferentes procedimientos técnicos y agronómicos, con el fin de mejorar estas condiciones (Kaurichev, 1984).

Determinación de la porosidad total

Cálculos

$$P \text{ total} = \left[1 - \frac{D_a}{D_r} \right] * 100$$

Donde:

P total → porosidad total en porcentaje del volumen de suelo

Dr → densidad de la fase sólida

Da → la densidad del suelo (aparente)

Para apreciar la porosidad total de los suelos arcillosos y arcillo-arenosos, N. A. Kachinskii propuso emplear la escala siguiente:

Tabla IV. Apreciación cualitativa de la porosidad del suelo

Porosidad total (%)	Apreciación cualitativa
> 70	Porosidad excesiva. Suelo esponjoso, fofo
55 - 65	Porosidad excelente. Capa arable de suelo bien cultivado
50 - 55	Porosidad satisfactoria para la capa arable
<50	Porosidad no satisfactoria para la capa arable
40 - 25	Porosidad demasiado baja. Es típica de los horizontes aluviales compactados

Determinación de la Porosidad de aireación. La porosidad de aireación es la parte ocupada por aire de la porosidad total del suelo. Esta equivale a la diferencia entre el volumen de la porosidad total y el volumen de agua que contiene el suelo en el momento de la determinación de la porosidad. La porosidad de aireación se calcula a partir de los valores de la porosidad total, la humedad y la densidad del suelo y se expresa en porcentaje de volumen de este último. Primero se calcula el volumen de poros repletos de agua P_w , es decir, el contenido de agua en porcentaje del volumen de suelo, mediante la fórmula:

$$P_w = D_a * W_n$$

D_a = densidad aparente del suelo (mg.m^{-3})

W_n = humedad del suelo, calculada a partir de suelo seco

La porosidad de aireación es fácil de calcular a partir del conocimiento del volumen de los poros repletos de agua.

$$P_a = P_t - P_w$$

P_a → Porosidad de aireación.

P_t → Porosidad total.

P_w → Poros repletos de agua.

Desde luego es bueno señalar que estos valores están relacionados con características de humedad y aireación, que presentaba el suelo en el momento de ser tomada la muestra.

Tabla V. Resultados obtenidos en el área experimental Finca "Las Papas"

Índices evaluados**	Rango de valores obtenidos (%)
Porosidad total (P_T)	60-65
Poros ocupados por agua (P_w)	25-30
Porosidad de aireación (P_a)	30-35

** Suelo Ferralítico Rojo compactado, con un valor cercano al 80 % de la capacidad de campo

Determinación del límite inferior y superior de plasticidad, así como el índice de plasticidad. Método de Atterberg

Fundamentación. A la propiedad que tiene un suelo de cambiar su forma, sin que se altere su integridad, bajo la influencia de una fuerza exterior cualquiera y de conservarla después de retirada dicha fuerza, se le llama plasticidad.

La plasticidad depende de la composición mecánica, mineralógica y química del suelo. La determinación está fundamentada en el cálculo del índice plástico de un suelo, utilizando una muestra a la que se añade agua de una forma cuantificada, hasta llegar al límite inferior de plasticidad (margen superior de humedad del suelo que permite labrarlo mecánicamente). Después se sigue añadiendo agua hasta llegar al límite superior de plasticidad (cuando la humedad del suelo es tal que este es capaz de derramarse o deslizarse). Finalmente con los valores de estos dos límites, calculamos el índice de plasticidad del suelo. El índice de plasticidad del suelo estudiado es igual a la diferencia de los valores de su humedad en los límites superior e inferior de plasticidad.

La plasticidad se mide por el “índice plástico” o número de plasticidad, el cual se determina por la diferencia entre la humedad del suelo en los límites inferior y superior de plasticidad. Mientras mayor sea el índice plástico, más plástico será el suelo (Kaurichev, 1984).

Técnica analítica

1. En balanza técnica de 0.01 g de precisión, se pesan 50 g de suelo seco al aire y pasado por tamiz de 1 mm y se colocan en un mortero de cristal o porcelana.
2. Adicionar agua por medio de una bureta, amasando con la mano del mortero hasta llegar al estado de pasta dura (como plastilina), se debe hacer un tabaquito con el pulgar y el índice, si no se parte se ha llegado al límite inferior de plasticidad. Se anota el volumen de agua gastada.
3. Se sigue añadiendo agua hasta el estado de fluidez, que es cuando se forman conos en el mortero y la mano al separar ambos. Se anota el volumen de agua gastada.

En ambos casos se considera la humedad higroscópica contenida en la muestra de suelo.

Cálculos

$$Lip = 2 \cdot mL + Wh \%$$

Lip → Límite inferior de plasticidad

2 → Para llevar a 100 g

mL → Mililitros de agua gastados

Hy % → Humedad higroscópica en porcentaje

$Lsp = 2 \cdot mL + Wh \%$

Lsp → Límite superior de plasticidad. Lo demás idem al anterior

Id = Lsp-Lip

Id → Índice de plasticidad

Tabla VI. Clasificación de la plasticidad de los suelos según Atterberg

Suelo	Índice plástico	Composición mecánica
Muy plástico	>17	Arcilloso
Plástico	17-7	Limoso
Poco plástico	<7	Areno limosa
No plástico	0	Arenoso

Utensilios de laboratorio

1. Mortero mediano con su mano
2. Bureta de 50 mL
3. Soporte para buretas
4. Espátula o cucharillas

Equipos

1. Balanza técnica

REFERENCIAS

- Cairo, P. y Fundora, O. Edafología. La Habana:Editorial Pueblo y Educación, 1994. 476 p.
- Fernández, L. y Luis, J. Barrena de extracción de muestras de suelo para la determinación del peso volumétrico. Patente certificado número 22 316, Oficina Nacional de Invenciones, Información Técnica y Marcas, Cuba, 1994.
- Frómata. E. M. Método de Bouyoucos Modificado. San Gil:Universidad de San Gil, 1996.
- Kaurichev, I. S. Prácticas de Edafología. Moscú:Editorial MIR, 1984. 279 p.
- Klimes, A. Suelos de Cuba (t.II). La Habana:Editorial ORBE, 1980. 328 p.
- Luis, J. Trabajo de correlación de los valores obtenidos con el densímetro de grados Brix (escala 0-10), con los obtenidos en el Hidrómetro de Bouyoucos. En XIII Fórum de Ciencia y Técnica y VIII Evento de Técnicos Medio. Inscripto en el libro de soluciones de la Asociación de Innovadores y Racionalizadores del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2001.
- Russell, E. J. y Russell, E. W. Las condiciones del suelo y el desarrollo de las plantas. Madrid:Editorial Aguilar, 1959. 771 p.
- Soil Survey Staff. Keys to soil taxonomy. USDA, NRCS, 2003. 332 p.

ANEXO 1

Tabla de valores de la densidad de la disolución de suelo expresada en el densímetro de grados brix (escala 0-10) 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	Lectura en grados Brix	Lectura en el hidrómetro de Bouyoucos
1	1	21	13	41	26	61	39	81	52
2	1	22	14	42	27	62	40	82	53
3	2	23	15	43	28	63	40	83	53
4	2	24	15	44	28	64	41	84	54
5	3	25	16	45	29	65	42	85	55
6	4	26	17	46	30	66	42	86	55
7	4	27	17	47	30	67	43	87	56
8	5	28	18	48	31	68	44	88	57
9	6	29	19	49	31	69	44	89	57
10	6	30	19	50	32	70	45	90	58
11	7	31	20	51	33	71	46	91	58
12	7	32	21	52	33	72	46	92	59
13	8	33	21	53	34	73	47	93	60
14	9	34	22	54	35	74	48	94	60
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.

ANEXO 2

Tablas de valores de tiempos, para la toma de las fracciones a las diferentes profundidades, por el método de la pipeta de Kachinskii, los cuales varían con la temperatura de la dispersión de suelo y el peso específico de la muestra de suelo analizada

T°C	D S T	0.02		0.01		0.002		
		15	15	10	10	7	7	
		min.	seg.	min.	seg.	hor.	min.	seg.
15		9	21	24	54	7	16	57
16		9	7	24	17	7	5	47
17		8	51	23	38	6	53	42
18		8	39	23	3	6	43	41
19		8	26	22	31	6	34	8
20		8	13	21	55	6	23	46
21		8	2	21	25	6	15	8
22		7	50	20	54	6	5	43
23		7	40	20	25	5	57	52
24		7	29	19	56	5	49	18
25		7	18	19	29	5	41	7
26		7	8	19	9	5	33	20
27		6	58	18	43	5	25	53
28		6	49	18	18	5	17	2
29		6	41	17	49	5	11	41
30		6	32	17	27	5	5	2

Peso específico 2.40

T°C	D S T	0.02		0.01		0.002		
		min.	seg. 15	min.	seg. 10	hor.	min. 7	seg.
15		8	42	23	14	6	46	30
16		8	30	22	38	6	36	49
17		8	16	22	4	6	26	18
18		8	5	21	31	6	17	33
19		7	53	20	59	6	8	2
20		7	41	20	28	5	58	58
21		7	30	19	59	5	50	21
22		7	19	19	30	5	42	7
23		7	9	19	2	5	34	17
24		6	58	18	37	5	25	53
25		6	49	18	10	5	18	45
26		6	43	17	55	5	11	6
27		6	31	17	32	5	4	36
28		6	22	17	00	4	57	37
29		6	15	16	40	4	51	46
30		6	6	16	00	4	45	14

Peso específico 2.50

T°C	D S T	0.02		0.01		0.002		
		min.	seg. 15	min.	seg. 10	hor.	min. 7	seg.
15		7	55	21	8	6	9	
16		7	43	20	35	6	0	16
17		7	32	20	4	5	51	10
18		7	20	19	34	5	42	32
19		7	9	19	5	5	34	1
20		6	59	18	38	5	25	58
21		6	49	18	11	5	18	9
22		6	39	17	45	5	10	41
23		6	30	17	20	5	3	27
24		6	21	16	56	4	56	27
25		6	11	16	33	4	49	48
26		6	4	16	11	4	43	23
27		5	56	15	50	4	37	5
28		5	49	15	29	4	31	8
29		5	41	15	10	4	25	18
30		5	33	14	50	4	19	42

Peso específico 2.65

T°C	D S T	0.02		0.01		0.002		
		min.	15 seg.	min.	10 seg.	hor.	min.	seg.
15		7	41	20	30	5	58	58
16		7	30	19	59	5	50	21
17		7	18	19	36	5	41	7
18		7	7	19	9	5	32	23
19		6	56	18	31	5	24	4
20		6	46	18	6	5	16	10
21		6	36	17	42	5	8	38
22		6	27	17	21	5	1	27
23		6	18	16	50	4	54	36
24		6	9	16	30	4	47	21
25		6	1	16	10	4	41	7
26		5	53	15	43	4	35	4
27		5	45	15	25	4	21	49
28		5	37	15	10	4	22	45
29		5	30	14	44	4	16	58
30		5	23	14	22	4	11	26

Peso específico 2.70

T°C	D S T	0.02		0.01		0.002		
		min.	15 seg.	min.	10 seg.	hor.	min.	seg.
15		7	16	19	22	5	39	8
16		7	4	18	52	5	30	30
17		6	54	18	23	5	22	17
18		6	44	18	6	5	14	27
19		6	33	17	32	5	6	12
20		6	24	17	10	4	59	8
21		6	15	16	40	4	51	40
22		6	5	16	20	4	44	33
23		5	57	16	1	4	38	26
24		5	49	15	34	4	31	57
25		5	41	15	17	4	25	45
26		5	34	14	29	4	19	50
27		5	26	14	14	4	13	37
28		5	19	13	53	4	8	13
29		5	12	13	39	4	3	3
30		5	5	13	29	3	57	30

Peso específico 2.80

T°C	D S T	0.02		0.01		0.002		
		min.	15 seg.	min.	10 T°C	T	min.	7 seg.
15		6	53	18	31	5	21	23
16		6	42	17	52	5	12	46
17		6	32	17	32	5	5	24
18		6	22	17	0	4	57	37
19		6	13	16	40	4	50	12
20		6	4	16	10	4	43	10
21		5	55	15	52	4	36	27
22		5	47	15	25	4	30	3
23		5	38	15	9	4	23	21
24		5	31	14	44	4	17	32
25		5	23	14	22	4	11	26
26		5	16	14	7	4	6	7
27		5	9	13	46	4	00	32
28		5	2	13	26	3	55	12
29		4	55	13	13	3	50	6
30		4	49	12	55	3	45	13

Peso específico 2.90

T°C	D S T	0.02		0.01		0.002		
		min.	15 seg.	min.	10 seg.	hor.	min.	7 seg.
15		6	32	17	32	5	24	5
16		6	22	17	0	4	57	37
17		6	13	16	40	4	50	12
18		6	3	16	10	4	42	29
19		5	54	15	52	4	35	48
20		5	45	15	25	4	28	29
21		5	37	14	0	4	22	45
22		5	29	14	44	4	16	24
23		5	21	14	22	4	10	21
24		5	14	13	0	4	35	4
25		5	7	13	39	3	4	59
26		5	0	13	26	3	53	48
27		4	53	13	7	3	48	19
28		4	47	12	49	3	43	29
29		4	40	12	31	3	38	28
30		4	35	12	15	3	4	34

Peso específico 3.00

T°C	D S T	0.02		0.01		0.002		
		min.	15 seg.	min.	10 seg.	hor.	min.	seg.
15		6	14	16	40	4	50	56
16		6	4	16	10	4	41	40
17		5	55	15	52	4	36	27
18		5	46	15	25	4	29	26
19		5	37	15	0	4	22	45
20		5	29	14	44	4	16	24
21		5	21	14	22	4	9	49
22		5	13	14	0	4	4	4
23		5	6	13	39	4	58	34
24		4	59	13	20	3	52	52
25		4	52	13	1	3	47	31
26								
27								
28								
29								
30								

Peso específico 3.10

T°C	D S T	0.02		0.01		0.002		
		min.	15 seg.	min.	10 seg.	hor.	min.	seg.
15		5	50	15	52	4	37	46
16		5	48	15	34	4	30	41
17		5	38	15	9	4	23	21
18		5	30	14	44	4	16	58
19		5	22	14	22	4	10	53
20		5	14	14	0	4	4	35
21		5	6	13	39	3	58	34
22		4	59	13	20	3	52	52
23		4	54	13	1	3	47	25
24		4	45	12	43	3	42	13
25		4	39	12	26	3	15	15
26		4	11	11	59	3	29	50
27								
28								
29								
30								

Peso específico 3.20

T°C	D S T	0.02		0.01		0.002		
		15 min.	seg.	10 min.	seg.	7 hor.	min.	seg.
15		5	41	15	17	4	25	45
16		5	32	14	52	4	18	41
17		5	23	14	29	4	11	38
18		5	15	14	7	4	5	36
19		5	8	13	46	3	59	33
20		5	0	13	26	3	53	48
21		4	53	13	7	3	48	18
22		4	46	12	49	3	43	4
23		4	39	12	26	3	37	35
24		4	33	12	9	3	32	30
25		4	27	11	24	3	27	57
26		4	21	11	37	3	23	17
27		4	15	11	5	3	18	47
28								
29								
30								

Peso específico 3.30

T°C	D S T	0.02		0.01		0.002		
		15 min.	seg.	10 min.	seg.	7 hor.	min.	seg.
15		5	26	14	37	4	14	10
16		5	18	14	14	4	4	41
17		5	10	13	53	4	1	32
18		5	3	13	33	3	55	41
19		4	55	13	7	3	49	39
20		4	48	12	49	3	44	21
21		4	41	12	31	3	38	53
22		4	34	12	15	3	33	40
23		4	28	11	59	3	28	42
24		4	22	11	39	3	23	57
25		4	15	11	24	3	1	95
26								
27								
28								
29								
30								

Peso específico 3.40

T°C	D S T	0.02		0.01		0.002		
		15 min.	15 seg.	10 min.	10 seg.	7 hor.	7 min.	7 seg.
15		5	13	14	0	4	4	4
16		5	6	13	39	3	58	5
17		4	58	13	20	3	51	56
18		4	50	12	55	3	46	5
19		4	43	12	37	3	40	37
20		4	36	12	20	3	36	15
21		4	29	11	59	3	29	49
22		4	23	11	44	3	25	2
23		4	17	11	29	3	20	27
24		4	11	11	11	3	15	44
25		4	5	10	57	3	11	15
26								
27								
28								
29								
30								

Peso específico 3.50

T°C	D S T	0.02		0.01		0.002		
		15 min.	15 seg.	10 min.	10 seg.	7 hor.	7 min.	7 seg.
15		5	1	13	26	3	54	44
16		4	54	13	7	3	48	45
17		4	46	12	49	3	43	4
18		4	39	12	26	3	37	15
19		4	32	12	9	3	32	7
20		4	25	11	49	3	26	51
21		4	19	11	34	3	21	50
22		4	13	11	15	3	17	4
23		4	7	11	1	3	12	31
24		4	1	10	45	3	8	10
25		3	56	10	32	3	4	1
26								
27								
28								
29								
30								

Peso específico 3.60

T°C	D S T	0.02		0.01		0.002		
		15	15	10	10	7	7	7
		min.	seg.	min.	seg.	hor.	min.	seg.
15		4	50	12	57	3	46	5
16		4	43	12	37	3	40	32
17		4	36	12	20	3	34	51
18		4	29	11	59	3	29	27
19		4	22	11	44	3	24	19
20		4	15	11	24	3	19	19
21		4	10	11	6	3	14	22
22		4	4	10	53	3	10	0
23		3	58	10	36	3	5	28
24		3	52	10	21	3	1	9
25		3	47	10	9	2	57	2
26								
27								
28								
29								
30								

Peso específico 3.70

T°C	D S T	0.02		0.01		0.002		
		15	15	10	10	7	7	7
		min.	seg.	min.	seg.	hor.	min.	seg.
15		4	40	12	31	3	38	4
16		4	33	12	9	3	32	30
17		4	26	11	54	3	27	13
18		4	19	11	34	3	20	11
19		4	13	11	15	3	17	17
20		4	7	11	2	3	12	12
21		4	2	10	45	3	7	34
22		3	55	10	28	3	3	19
23		3	50	10	13	2	58	53
24		3	44	9	58	2	54	39
25		3	39	9	48	2	50	48
26								
27								
28								
29								
30								

Peso específico 3.80

T°C	D S T	0.02		0.01		0.002		
		15 min.	seg.	10 min.	seg.	7 hor.	min.	seg.
15		4	30	12	4	3	30	35
16		4	23	11	44	3	25	2
17		4	17	11	29	3	20	6
18		4	10	10	11	3	10	6
19		4	4	10	53	3	6	0
20		3	58	10	36	3	5	28
21		3	52	10	21	3	1	9
22		3	47	10	6	2	56	40
23		3	41	9	51	2	52	35
24		3	36	9	38	2	48	35
25		3	31	9	24	2	44	47
26								
27								
28								
29								
30								

Peso específico 3.90

En este manual se exponen los métodos de análisis utilizados para la evaluación de diferentes aspectos de la naturaleza física del suelo, incluyendo algunas tablas y apreciaciones que facilitan la interpretación de los resultados.

El objetivo fundamental de este manual es que el técnico de laboratorio tenga acceso a la experiencia acumulada durante varios años. Estos aspectos, generalmente, no aparecen reflejados de forma tan sencilla en los libros referidos al tema. Por ello, este resulta muy útil para los que trabajan en esta actividad, ya que permite una rápida comprensión de los métodos sin dejar de ser cuidadosos y precisos en su aplicación. Esta última versión contiene fundamentaciones más completas y nuevas tablas que logran un trabajo de laboratorio con una mayor eficiencia.

978-959-7023-39-5



9 789597 402339 511