Cómo Evaluar la Salud del Suelo: Manual de Protocolos

Proyecto Trasversal de Suelos

Comunidad de Práctica de los Andes

Fundación McKnight

Versión 6.3 noviembre 2018

Elaboración y adaptación de métodos: Steven Vanek, Steven Fonte, y Blessing Magonziwa. Con el apoyo de Sonia Laura V., Rafael Paredes (PROSUCO), y Gavi Alavi (Universidad Mayor San Andrés, La Paz). Apoyo en edición: Zoraida Portillo

Protocolos – Evaluaciones de la Salud del Suelo
Proyecto transversal de suelos de la fundación McKnight.

Contactos/elaboración:
Steven Vanek, Universidad del Estado de Colorado, stevanek4@gmail.com
Steven Fonte, Universidad del Estado de Colorado, stevenfonte@gmail.com

INDICE

1. Consejos generales sobre el muestreo del suelo
1.1 Muestreo
1.2 Métodos de muestreo
1.3 Profundidad de la muestra
1.4 Combinación de varias submuestras para representar una parcela
1.5 Manejo de las muestras
1.6 Homogeneidad de la muestra
2. Equipos, materiales y reactivos
2.1 Equipos
2.2 Materiales
2.3 Reactivos
3. Métodos de análisis de suelos
3.1. Textura
3.1.1. Método al tacto
3.1.2. Método de sedimentación
3.1.3. Método al tacto de la FAO
3.2. pH del suelo
3.3. Estabilidad de los agregados
3.4. Materia Orgánica
3.4.1. Método con agua oxigenada
3.4.2. Materia orgánica particulada (MOP)
3.4.3. Carbón oxidable por permanganato (POXC o "Carbón activo")
3.5. Fósforo Disponible (método Olsen)
3.6. Evaluación de la Macrofauna del Suelo
3.7. Infiltración de agua (bajo prueba)

Bibliografía
APÉNDICES
Apéndice A: Guía visual y táctil a la humedad del suelo
Apéndice B: Clave de Macrofauna encontrada en suelos

Sección 1: Introducción y vista general de muestreo de suelo y manejo de las muestras

Este manual busca proporcionar a los agricultores a pequeña escala métodos para analizar la salud de los suelos. Los métodos presentados varían en su complejidad, pero todos pueden ser realizados o por los mismos agricultores o por las organizaciones que trabajan con ellos en la investigación para crear innovación e impacto en los modos de vida rural. Esta publicación presenta solamente los métodos de forma más técnica, dando algunas pautas para su interpretación. Hay otras publicaciones que explican el significado de estas mediciones y la manera en que se integran en una evaluación global de la salud del suelo. El manual tiene dos secciones introductorias sobre muestreo de suelo y materiales, seguidas de una descripción en detalle de cada protocolo de evaluación en la sección 3.

1.1 Muestreo: El objetivo del muestreo es representar adecuadamente a una capa o capas de suelo en un lugar determinado y prepararla para los requisitos de los próximos pasos de análisis. En esta guía nos enfocamos en las maneras más simples de muestrear y analizar muestras que no necesitan un trato especial (solo se realiza el secado al aire), pero cabe notar que otros análisis (por ejemplo, para analizar comunidades microbianas, tipos de nematodos, o fracciones solubles de nitrógeno como el nitrato) necesitan un manejo muy específico y más cuidadoso, que se determina según otros procedimientos específicos.

1.2 Métodos de muestreo: Para generar una muestra que represente bien a las diferentes profundidades de suelo, a menudo se usa una sonda (un tubo filoso que ingresa al suelo para retirar un cilindro de tierra, véase Fig. 1). También se puede reemplazar este tubo con una pala, más una cuchillo o machete, con los que se corta una rebanada desde el borde del hoyo cavado en el suelo. Luego se recortan los bordes de esta rebanada con el cuchillo para crear una sección cuadrada (Fig. 1). Esta forma de muestrear con una pala es más lenta, pero similar en rigor a una sonda de suelo (que puede costar cientos de dólares). Otra alternativa, cuando se va a realizar la evaluación de la macrofauna del suelo (ver la sección 3.6), es cavar tres bloques de suelo (por ejemplo, 20x20 cm de área, por 20 cm de profundidad). Estos bloques serán la muestra. Es necesario excavar suficientes bloques (3 por parcela, por ejemplo) para representar la variabilidad de la parcela, o bien recoger más muestras con la pala para complementar estos bloques para la macrofauna (ver la sección 1.4 sobre la cantidad de submuestras). La Fig. 3 muestra estos diferentes métodos de muestreo y el manejo da las muestras.

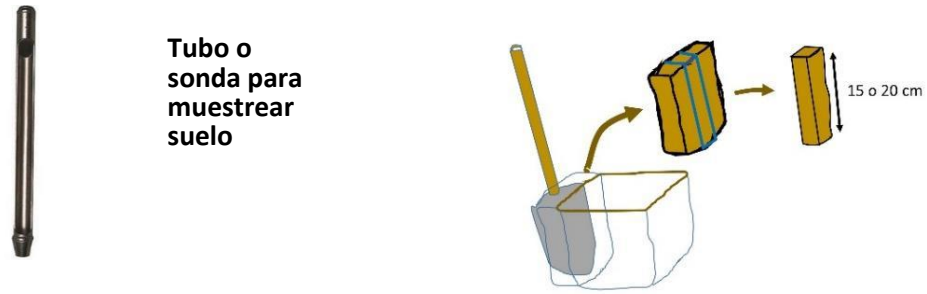


Fig. 1. Dos maneras de muestrear suelos: **Izquierda**: un tubo o sonda de muestrear; **Derecha**: utilizar una pala y cortar una rebanada de suelo para generar una submuestra en un punta.

1.3 Profundidad de la muestra: Generalmente para parcelas agrícolas se toma una muestra hasta una profundidad de 15 o 20 cm, puesto que ésta es la capa aprovechada por la gran mayoría de raíces de las plantas, y que contiene la mayoría de nutrientes y ciclos biológicos del suelo. Una vez escogida la profundidad es importante no cambiarla dentro de una campaña de muestreo o un proyecto de investigación, puesto que cambiar la profundidad va a cambiar los resultados de suelo. Si se quiere hacer modelaje de procesos en el suelo y validar con los datos de campo, es recomendable averiguar cuál es la profundidad de referencia para un modelo de suelo. El proyecto SoilGrids.org de la base mundial de referencia para los suelos (ISRIC), por ejemplo, utiliza una profundidad de 15 cm en vez de 20 cm.

1.4 Combinación de varias submuestras para representar una parcela: El muestreo debe representar adecuadamente un campo. Dentro de una parcela, generalmente son adecuados cinco a diez puntos para submuestras, aunque a veces solo se utilizan tres o cuatro si se está muestreando una gran cantidad de campos. Es importante enfatizar que estos puntos de muestreo o submuestras se combinan para generar solo una muestra por parcela, que promedie la variabilidad en la trama. Si existen grandes diferencias en una parcela, con un fuerte patrón espacial, se puede generar más de una muestra combinada si esto ayuda a comprender la variación existente en esa parcela; sin embargo sacar diferentes muestras dentro de un solo campo creará más trabajo de análisis, y no es aconsejable a menos que forme parte del diseño de la investigación..

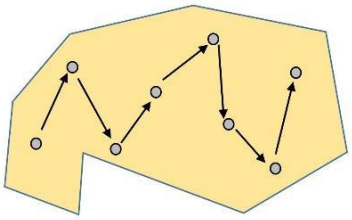


Figura 2. Indica una manera de recoger cinco a diez muestras en una parcela agrícola, siguiendo un patrón de zig-zag para cubrir la superficie de una forma que evite patrones espaciales.

1.5 Manejo de las muestras: Después de muestrear la parcela hay una serie de pasos para llegar al análisis, que se pueden visualizar en la Fig. 3. Después de combinar y homogeneizar las submuestras (de 5 hasta 10 por ejemplo) en campo, deben embolsarse en campo entre 1 y 2 kg, para que no falte para futuros análisis, a menos que haya limitaciones del volumen o peso que se puede almacenar. A partir de esta muestra húmeda, se puede proceder directamente al tamizado y luego a ciertos análisis en campo y sin secar el suelo, sea en la misma finca o en una comunidad rural cercana (ver flujo 1 en la Fig. 3). En general, se almacena la muestra hasta su análisis y se la lleva para secarla al aire, y tamizarla a 2mm para los análisis de suelo seco (flujo 2). Se puede también secar la muestra al aire después del muestreo de macrofauna (flujo 3; ver método 3,6). Asimismo, si se va a realizar la estabilidad de agregados es importante tamizar primero por lo menos una parte de la muestra a un tamaño más grande para no destruir los agregados grandes (8-12 mm; vea el flujo 4 a la derecha de la fig. 3 y el método 3.3 sobre agregados).

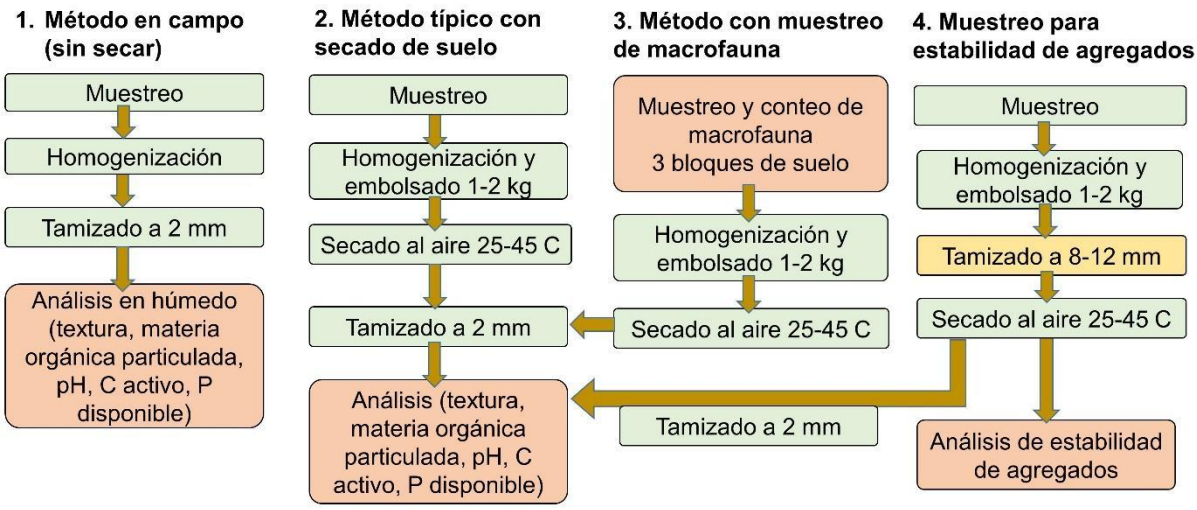


Fig. 3. Diferentes maneras de manejar las muestras dependiendo del análisis que se quiere hacer, con las siguientes opciones (1) Muchos de los análisis se pueden hacer en campo o en el mismo día del muestreo, después de tamizar a 2 mm pero sin secar el suelo; (2) Lo más típico es realizar el embolsado y secado de una parte de la muestra del campo, para luego tamizar y analizar; (3) Si se realiza el muestreo de macrofauna en campo, esto también es un punto de entrada para secar, tamizar, y analizar; (4) Para el análisis de estabilidad de agregados (sección 3.3) hay que tener cuidado de tamizar solo a 8-12 mm.

Después de tomar la muestra de suelo, es mejor guardarlo en una bolsa abierta y en un área sombreada a temperatura fría a media (5-15°C). Esto evitará la acumulación de condensación y de dióxido de carbono (CO_2), que podrían alterar los resultados futuros. En general, recomendamos **secar al aire lo más pronto posible** (por ejemplo, en bolsas de papel o en platos o cuencos abiertos). A no ser que estamos interesados en la humedad del suelo, éste nunca debe secarse en un horno caliente (no más de 40 o 45°C, por ejemplo). Si queremos determinar la humedad del suelo, lo mejor es dividir algunas submuestras de la masa homogeneizada total que se embolsó en campo, y secar solo éstas a 105°C, pesándolas antes y después de determinar el contenido de humedad (basado en el cambio de peso con el secado).

1.6 Homogeneidad de la muestra: Un principio importante es mezclar bien en cada momento la muestra antes de analizarla. De este modo, el resultado del suelo que se obtiene es representativo de la muestra que se ha recolectado en el campo y, por lo tanto, de la parcela agrícola (este proceso *NO nos permite* entender la variación a nivel micro en una parcela, que también puede ser válido y/o importante; sin embargo sacar un promedio general de las propiedades de una parcela es un punto de partida muy práctico). El tamizado del suelo también actúa para garantizar una homogeneidad de las muestras, porque divide el suelo en pequeños granos, lo que permite una mezcla eficiente de todos ellos, creando una masa homogénea que garantiza la representatividad de cualquier submuestra o análisis.

Sección 2. Equipos, materiales y reactivos

La siguiente sección contiene la descripción de equipos, materiales y reactivos que serán utilizados en los diferentes métodos de análisis de suelos descritos en este manual. Donde es posible también sugerimos algunas direcciones electrónicas para la adquisición de estos artículos. Hay otros proveedores para equipos similares a los que presentamos a continuación.

2.1 Equipos

2.1.1 Medidor de pH, modelo "Extech-Stick"

Es un equipo de lectura directa, que consta de un electrodo de superficie plana para mediciones pH de soluciones rápidas y simples de lectura directa.

Buscar "Extech pH110" o "Extech pH100" en el internet, o en el sitio www.testequipmentdepot.com

(Hay también otros modelos de medidores portátiles de pH; este modelo ha producido resultados consistentes y precisos, y tiene un costo razonable.)

2.1.2 Medidor de pH con bluetooth

Es un equipo medidor de pH de campo inalámbrico HALO®. Tiene un cuerpo plástico para ser resistente en el campo. Todas las lecturas se transmiten directamente a un celular inteligente (Android o IPhone).
http://hannainst.com/hi12302-halo-ph-electrode-with-bluetoothr-smart-technology.html

2.1.3 Colorímetro portátil, Hanna "checker" de fosfato para rango alto

Es un equipo para uso en campo. Este mismo colorímetro sirve para el ensayo de P disponible en el suelo (método Olsen) y para la prueba de Carbón Activo del Suelo (Carbón oxidable por KMnO4, o POXC). Es de la Marca Hanna Instruments, colorímetro "checker", número de modelo HI-717
http://hannainst.com/hi717-phosphate-hr.html

2.2 Materiales

2.2.1 **Papel de pH**: también se puede usar para medir el pH, pero los costos del papel y el de un medidor de pH pueden ser similares a través del tiempo. Los resultados con el papel pH a veces no concuerdan bien con los resultados de pH de un laboratorio (ver el método pH, sección 3.2).

2.2.2 **Frasquitos extras para el colorímetro** (frasquitos de 11 ml con un diámetro de 0,75 pulgadas). Es conveniente tener un juego de aproximadamente 10-30 o más frasquitos por kit, para permitir que se realicen múltiples pruebas en serie. Estos se venden por la compañía Hanna, que vende el colorímetro: https://hannainst.com/hi731315-glass-cuvettes-and-caps-for-checker-hc-colorimeters.html. También se pueden pedir de forma más económica en el sitio web "discount vials" con el número de catálogo CT15196525-C-F217-N (y un cierre de sellado de teflón que es más duradero): https://www.discountvials.com/3-dram-glass-vial-w-cap-pkg-of-25/. Una caja más grande, de 144 frasquitos, también se vende en este sitio web.

2.2.3 **Papel filtro:** Para suelos bajos en arcilla, los filtros de café con grado fino pueden ser suficientes para filtrar los suelos (Fig. 4). Sin embargo, estos filtros pueden obstruirse con suelos altos en arcilla. En este caso, es mejor usarse filtros de laboratorio tipo #5 Whatman, que tiene poros finos (2,5 micrones) y suficiente velocidad de flujo para que no se obstruya durante el filtrado. Un proveedor de estos es Cole-Parmer: https://www.coleparmer.com/i/whatman-1005-090-qualitative-filter-papers-9-0-cm-dia-pore-size-2-5-100 -box / 0664822. Una caja de 100 filtros, con un diámetro de 9 cm cuesta aproximadamente US$20. Es importante tener en cuenta el número de referencia Whatman: #1005-090, al momento de realizar el pedido. Estos filtros de 9 cm pueden ser cortados en círculos más pequeños (por ejemplo, 2,7 cm) a fin de filtrar los suelos con una botella de plástico (ver sección 3.5). De esta forma cuatro muestras se pueden filtrar con un filtro, es decir, con una caja 100 filtros se puedan filtrar 400 muestras.

Fig. 4. Izquierda: Filtros de café en forma de cono; **Derecha**: filtros de laboratorio, Whatman tipo #5 con poros de 2,5 micrones. Círculos de ~3cm se cortaron de cada uno para filtrar suspensiones de suelo con una botella.

2.2.4 Tamices para tamizar suelo en general y las pruebas de estabilidad de agregados y materia orgánica particulada (MOP)

1. **Tamices de 2 mm (2000 micrones)**: Este tamiz es fundamental para el análisis de suelos, porque precisa lo que es suelo (versus piedras), por lo que puede ser conveniente invertir en un tamiz de metal de mejor calidad (latón o acero inoxidable, 15 o 20 cm de diámetro). También hay tamices de plástico de bajo costo con malla inoxidable que funcionan bien, como describimos a continuación:
   A. **Tamiz inoxidable entero de 2 mm** (este tamaño de tamiz también se conoce como malla 10). Si no se le encuentra en el mercado local, una fuente económica de este tamiz es ZoroTools (sitio web de Estados Unidos), con diámetro de 8 pulgadas (US$55 + envío). Es el producto número G3842894 en el sitio web www.zoro.com .
   B. **Tamiz plástico de bajo costo de 2 mm, con malla inoxidable**: (Fig. 5) se consigue en la empresa "Forestry Suppliers" (proveedores en forestería) a US$9. Este tamiz funciona bien si se utiliza para el tamizado en húmedo, donde no va a experimentar un uso pesado. Es el producto número 53935 en el sitio web http://www.forestry-suppliers.com.
   C. **Tamiz casero.** Es elaborado por uno mismo, con una malla fuerte de metal con la que se fabrica un tamiz con un tamaño de hueco de 2 mm (a veces se utiliza en la minería).

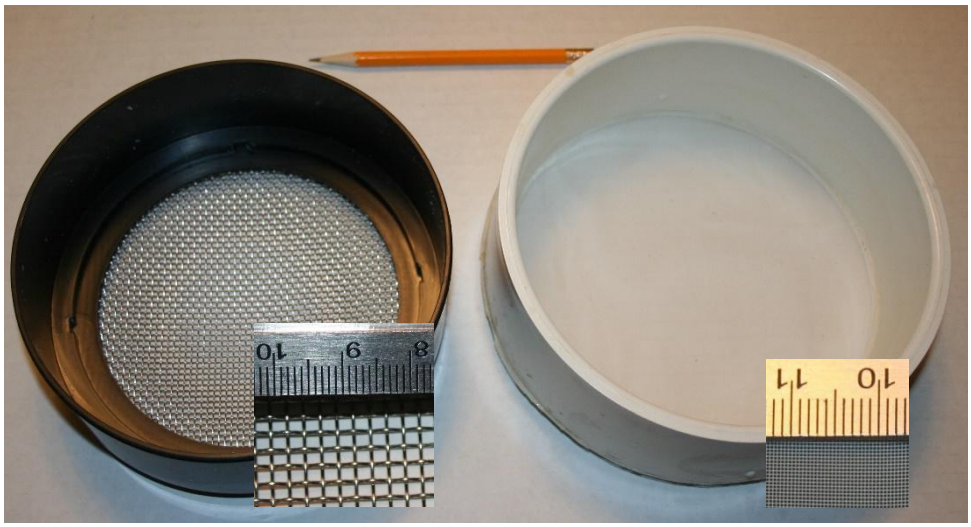


Figura 5. **Izquierda**: tamiz plástico de 2mm de bajo costo; **Derecha**: tamiz de 250 micrones (malla número 60 de serigrafía) de construcción casera, hecho de un tubo plástico.

2. Tamiz de 250 micrones (o 0,25 mm). Para este tamiz también hay opciones de comprarlo o hacerlo uno mismo, como se describe a continuación:
   A. Pedir un tamiz ya hecho en internet: tamiz #60 (250 micrones) en la compañía "Forestry Suppliers" (proveedores en forestaeía) en US$58, con el número de producto 53650 (sitio web: http://www.forestry-suppliers.com)

B. También se puede construir un tamiz de 250 micrones usando la parte inferior de un cubo redondo o de un tubo de diámetro grande (por ejemplo 15 cm) que se pueden conseguir en las ferreterías grandes o proyectos de construcción (Fig. 5). A esta sección de tubo o cubo, se le fija una malla de plástico utilizada en la serigrafía con aperturas de 0,25 mm (250 micrones, también llamada malla número 60). En las ciudades grandes, esta malla plástica se vende a las tiendas que realizan impresiones de serigrafía en la ropa. También se puede pedir en internet, como malla número 60 de nylon o polipropileno para serigrafía. Un proveedor es Holden Screen Supply Corp., Nueva York, NY, EE.UU.: http://www.standardscreen.com/mesh.aspx. Esta malla cuesta US$ 14 para aproximadamente 1 metro x 60 pulgadas, lo que es suficiente para muchos tamices. En el sitio web proporcionado hay un teléfono de contacto donde se puede solicitar información sobre el envío internacional.

2.3. Reactivos

Es probable que la búsqueda de reactivos químicos sea un serio desafío en muchas regiones. Por lo tanto, es importante identificar posibles proveedores en las grandes ciudades.

2.3.1 **Calibradores (buffers) de pH**, con valores de pH 4 y pH 7. Estos se encuentran en las tiendas de insumos para laboratorio.

2.3.2 **Para la prueba de Carbón oxidable** por $KMnO_4$ (Carbón activo, POXC):

1. **Permanganato de potasio ($KMnO_4$)** - no se necesita mucho para hacer cada prueba: 64 mg por prueba, o 20 g para 300 pruebas. Esto significa que, de ser necesario, quienes viajen a la región pueden llevar un pequeño recipiente de $KMnO_4$. En los Andes, a veces se restringe la venta de $KMnO_4$ en grandes cantidades o su transporte al campo por ser un precursor de la fabricación de drogas. En ciudades grandes, a veces se encuentra en pequeñas cantidades para utilizarse en laboratorio.
2. **Cloruro de calcio ($CaCl_2$; también puede funcionar el cloruro de magnesio)** - El $CaCl_2$ es el reactivo que necesitamos en mayor cantidad dentro de esta prueba: 300 mg (0,3 g) por prueba, por lo que es preferible conseguirlo localmente. En esta evaluación, el ion Ca^{++} proveniente del $CaCl_2$ actúa como un floculante de arcillas para ayudar a asentarlas y dejar menos turbia la solución. El Mg^{++} proveniente de $MgCl_2$ flocula arcillas como el Ca^{++}, aunque en menor grado. Necesitaríamos 90 g de $CaCl_2$ para 300 pruebas.
3. **Ácido cítrico, o bien jugo de limón,** puede ser útil para limpiar los envases que se utilizan para la prueba de carbón activo, que con el uso se pueden manchar con un color café. Pero no se necesita un reactivo de mucha pureza.

2.3.3 **Para la prueba de fósforo disponible** (fósforo Olsen)

1. **Bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$)**: El bicarbonato de sodio limpio y nuevo comprado en el supermercado generalmente funciona, pero tiene que ser probado para ver si una muestra en blanco (sin suelo) tiene una lectura apreciable de fosfato. Si el grado analítico $NaHCO_3$ está disponible en una tienda de reactivos o insumos de

laboratorio, también es excelente. Se requieren 1,05 gramos por análisis de muestras. Esto es, 42 g por litro para hacer una solución 0,5 M $NaHCO_3$; cada litro sirve para extraer 40 muestras. (Así que cada kit para 300 muestras, calculando un poco más por la calibración, pruebas, etc., requiere de 8 x 42 = 336 g, o 350 g si se redondea para estar seguros).

2. **Hidróxido de sodio (NaOH)**. Utilizamos lejía de la ferretería (que se vende para abrir los sumideros de los lavaplatos cuando se bloquean). Sin embargo, es más factible encontrar este reactivo en pequeñas cantidades en las tiendas de insumos para laboratorio. Se necesita una pequeña cantidad de este reactivo, aproximadamente 1 g por litro de solución de extracción que alcanza para 40 muestras (es decir, menos de 10 g por kit para 300 muestras).
3. **Bisulfato de sodio ($NaHSO_4$)**- esta es una alternativa mucho más segura y más fácil de dosificar al ácido sulfúrico o ácido clorhídrico. Se vende a bajo precio como producto químico para ajustar el pH de las piscinas en los EE.UU., y vale la pena comprobar si se vende localmente para este uso en la región. Una tienda de reactivos o insumos de laboratorio es otra opción para adquirir este reactivo. Cada análisis utiliza 600 mg por prueba (es decir, 180 g para 300 pruebas). El ácido sulfúrico, comprado como ácido de batería, puede sustituir a este reactivo. Ver la sección 3.5 para más detalles.
4. **Paquetes de reactivos** para el análisis de fósforo en solución, rango bajo, vendido por la compañía Hanna en: http://hannainst.com/hi93713-03-phosphate-low-range-reagents-300-tests.html - Tenga en cuenta que estos paquetes de reactivos son de rango **bajo** para fosfato, pero el colorímetro es de rango ***alto*** (el uso de los reactivos de un tipo con el medidor del otro tipo es a propósito).

2.3.4 **Alcohol (Etanol o Propanol)** puede ser necesario para la evaluación de macrofauna del suelo, en caso que se quiere guardar y preservar la fauna para su identificación posterior a un nivel taxonómico más detallado. Esto se compra en cualquier farmacia.

2.3.5 **Agua oxigenada (H_2O_2):** esta es el tipo normal de agua oxigenada (a 3% de concentración) que se vende en las farmacias, y se utiliza para la prueba sencilla y cualitativa de materia orgánica en la sección 3.4.1.

Sección 3: Métodos de análisis de suelos

3.1. **Textura del suelo:** se refiere a las proporciones de arena, limo y arcilla en el suelo. Los suelos altos en arcilla se consideran "de textura fina" y pueden tener problemas de compactación y drenaje; sin embargo, con un buen manejo pueden almacenar grandes cantidades de materia orgánica y tener una buena retención del agua. Los suelos arenosos tienen buen drenaje, lo que implica que son más vulnerables a sequía y que su contenido de materia orgánica es difícil de aumentar. Por su parte los suelos francos, tienden a combinar las buenas propiedades de los suelos arcillosos y arenosos.

3.1.1. **Método al tacto:** Este es un método desarrollado por expertos del servicio de conservación de suelos de EE.UU. Es bastante práctico y rápido y produce resultados de las fracciones arena, limo, y arcilla a una precisión de +/- 5% a 10%. Para practicar este método consultar la Fig. 6.

1. Formar una bola de suelo mojado, agregando agua hasta formar una masilla. Para mojar fácilmente se puede utilizar una botella pequeña de agua o una piseta. Es importante tener paciencia en formar una masa uniforme y sin piedras, que es plástica pero no se pega mucho en la mano. Si se llega al contenido adecuado de agua y todavía NO se puede formar una bola (o se deshace), el suelo se califica como una arena o arenoso (Fig. 6)
2. A continuación hay que asegurar que la masa tiene el nivel adecuado de humedad, e intentar formar una "cinta" de suelo húmedo aplastando la masa entre el dedo pulgar y el dedo índice, dejando que la cinta emerja sobre el dedo índice (ver la Fig. 6). El largo de la cinta que se puede hacer antes de que ésta se rompe por su propio peso sirve para distinguir los suelos francos, francos arcillosos, y arcillas (Fig.6, paso 4). Hay que prestar atención a la humedad del suelo, porque si es demasiado seco se va deshacer solo, por falta de agua, y si es demasiado húmedo se pegará en la mano en vez de ser moldeable en una cinta. Se sugiere practicar este paso de la cinta.
3. Finalmente, mojar excesivamente una pizca de la masa para hacer una pasta, con el fin de evaluar las proporciones de arena y limo entre los dedos para designar descriptores "arenosos" y "limosos", además de los tipos generales en el paso 5 de la diagrama (Fig. 6).
4. Después de este procedimiento debería ser posible determinar dentro de un rango aproximado el porcentaje de arena, limo y arcilla usando el triángulo textural del suelo que se aprecia en la figura 7. Por ejemplo, si se determina que es franco arcilloso, un nivel aproximado de estas fracciones sería 35% arena, 30% limo y 35% arcilla. Si uno siente que un suelo queda en los bordes entre tipos, según el largo de la cinta o el sentir del agua en los dedos, se pueden ajustar los porcentajes según los bordes entre tipos en el diagrama triangular (Fig. 7).

Figura 6 (próxima página): Diagrama de flujo para la determinación de clases texturales del suelo utilizando sensación de la mano y suelo humedecido

Inicio

Ponga en la palma de su mano alrededor de 25 g de suelo, suficiente para formar una bola de 3 a 4 cm. Si el suelo no fue cernido previamente, tiene que sacar las piedras que impedirán formar una masa. Moje la bola con agua poco a poco hasta romper los agregados y formar una masa. El suelo tiene una consistencia adecuada cuando es plástico como masilla y no se pega excesivamente a la mano como barro.

1

¿Permanece como una bola cuando se aprieta?

NO → Arena

Formando la cinta

2

Ponga la bola entre su dedo índice y pulgar, y empuje el suelo con el pulgar apretando hacia arriba. Forme una cinta de un grosor y ancho uniforme (3 mm aproximadamente de grosor). Deje que la cinta emerja y se extienda sobre el dedo índice, hasta romperse de su propio peso.

3

¿Se forma la cinta?

NO → Arena francosa

SI

4

¿ Qué tan larga es la cinta?

< 2.5 cm | 2.5 a 5 cm | Mayor a 5 cm

5

Moje excesivamente una pizca de suelo entre el pulgar y el dedo

< 2.5 cm	2.5 a 5 cm	Mayor a 5 cm
¿siente el suelo muy áspero? → Franco arenoso	¿siente el suelo muy áspero? → Franco arcilloso arenoso	¿siente el suelo muy áspero? → Arcilla arenosa
¿siente el suelo muy suave? → Franco limoso	¿siente el suelo muy suave? → Franco arcilloso limoso	¿Siente el suelo muy suave? → Arcilla limosa
Ni áspero, ni suave → Franco	Ni áspero, ni suave → Franco arcilloso	Ni áspero, ni suave → Arcilla

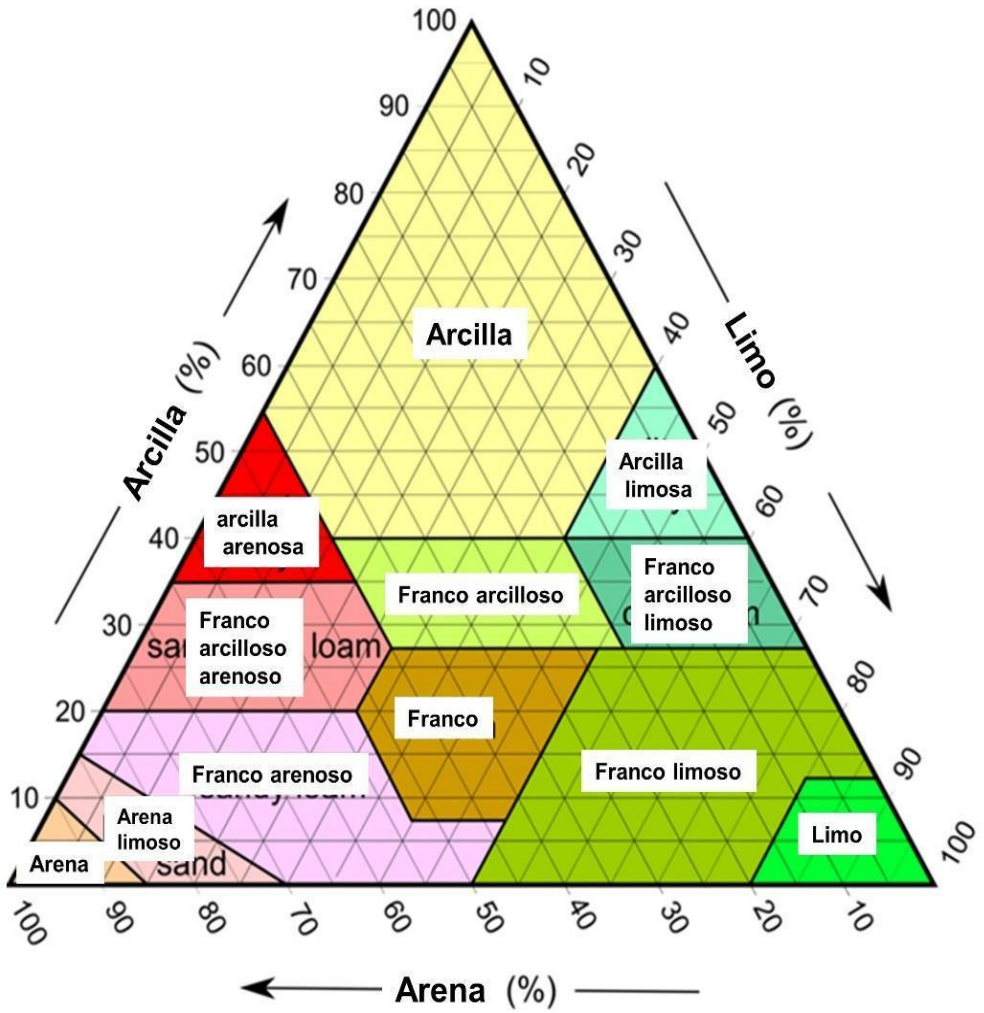


Figura 7. Gráfico triangular que expresa la proporción de arena, limo, y arcilla en diferentes tipos texturales de suelo. Preste atención a la orientación de las cifras que aparecen en los bordes, que indica cuál orientación de líneas hay que utilizar para referir al interior del diagrama (horizontal o diagonal).

3.1.2. Método de sedimentación: (a editar): Esta demostración permite visualizar de mejor manera los diferentes tamaños de las partículas arena, limo, y arcilla, mediante su sedimentación en una columna de agua. La arena (tamaño 50 micrones – 2 mm) se sedimenta primero, dentro de 40-60 segundos, mientras que el limo (2 micrones – 50 micrones) demora en sedimentar hasta 12 horas aproximadamente, mientras que la arcilla tarda más tiempo en asentarse. Sin embargo, estos tiempos son válidos solo para suspensiones totalmente dispersadas de suelo, cuyos agregados son difíciles de romper solo agitando un tarro e incluso utilizando una licuadora.. Este método entonces es útil para mostrar los diferentes tamaños de partículas que existen en el suelo, pero se debe combinar con los otros métodos al tacto, ya descritos, que pueden estimar de manera más precisa las proporciones de arena, limo, y arcilla.

3.1.2.1. Materiales

1. Botella o tarro de vidrio
2. Probeta o medida para líquidos con graduaciones de 10 mL
3. 100 a 200 mL de suelo aproximadamente (depende del volumen total de la botella o tarro.

3.1.2.2. Procedimiento

1. Preparar un tarro o botella con graduaciones para medir volumen, llenando poco a poco con incrementos de 10 mL con la probeta, y marcando la botella cada 10 mL. Una botella o tarro más delgado proporcionará más precisión para distinguir los porcentajes de las fracciones cuando éstas se asientan en la columna de agua.
2. Cernir el suelo a 2mm.
3. Mezclar bien el suelo con agua en el tarro, utilizando 2x a 3x el volumen de agua que el suelo. Agite bien o utilice una licuadora para destruir totalmente los agregados de suelo. En realidad, es muy difícil destruir totalmente los micro-agregados en arcillas, sin un dispersante químico como metafosfato de sodio, por lo que este método tiende siempre a **subestimar** el porcentaje de arcillas y **sobreestimar** el porcentaje de limo.
4. Deja asentar el suelo durante 1-24 h hasta que la mayoría de las arcillas se hayan sedimentado (el supernadante o suspensión superior debe ser trasparente o trasluciente).
5. Identifique visualmente las capas de arena, limo, y arcilla, y marque sus niveles como volúmenes utilizando las graduaciones en la botella o tarro.
6. Las fracciones se expresan como un porcentaje del volumen total en el tarro.
7. Este método es más aproximado que otros métodos para analizar la textura, y sirve principalmente como una manera de aproximarse visualmente a los conceptos de arena, limo y arcilla. En ciertos suelos puede ser difícil distinguir entre las capas de limo y arcilla.

3.1.3. Método al tacto de la FAO: Este método sirve como un complemento al método al tacto descrito en la sección 3.1.1, y puede servir para confirmar sus hallazgos o como una alternativa. Tiene la ventaja de ser bastante lineal y fácil de conceptualizar (ver Fig. 8). Sin embargo no categoriza hasta los últimos detalles de las clases de textura en el triángulo de la Fig 7.

3.1.3.1. Procedimiento.

1. Se comienza con formar una bola de diámetro ~3cm, como una masilla de suelo con agua, sin piedras que pueden interferir con la prueba (utilizar suelo cernido a 2mm es lo óptimo). La masa tiene que tener la cantidad de agua justa para ser moldeable sin pegarse mucho a la mano. Se recomienda amasar con paciencia hasta mezclar todo el suelo con agua. Si no se puede formar la bola, se sabe que es suelo de **arena** (Fig. 8).
2. Si se puede formar la bola, se intenta hacer una "salchicha" con un largo de 6 -7 cm. Si esta salchicha se deshace al formarse, es una **arena limosa.**

3. Si se logra formar la salchicha, se le sigue enrollando con la mano en una mesa u otra superficie hasta formar un "lápiz" de 15 o 16 cm con un grosor de ~6mm. Si no se puede hacer el lápiz o se deshace, es suelo **franco arenoso.**
4. A continuación se intenta hacer una media luna o la mitad de un círculo con el "lápiz". Si no se puede hacer o se deshace, es **franco sencillo.**
5. Si se puede hacer la media luna, se sigue doblando el "lápiz" hasta formar un anillo que tendrá un diámetro de unos 5 cm.
6. Si no se puede hacer el anillo, o se deshace en pedazos, se trata de **franco limoso** o **limo.**
7. Si se hace el anillo, pero le aparecen grietas, puede tratarse de diferentes tipos de suelo que tienden a ser "arcillosos" sin ser arcillas propiamente, tales como **franco arcillosos**, **arcillas limosas** o **arenosas**, etc., es decir, todos los tipos que colinden con la categoría arcilla en el triángulo textural (Fig. 7), incluyendo también la categoría **franco arcilloso arenoso**. Al sentir el suelo mojado con agua en una pasta (o reforzar con el otro método de tacto descrito en 3.1.1), será posible distinguir entre estas clases, después de practicar el método un poco.
8. Si se hace un anillo con muy pocos grietas, que parece alfarería, se trata de **arcilla.**

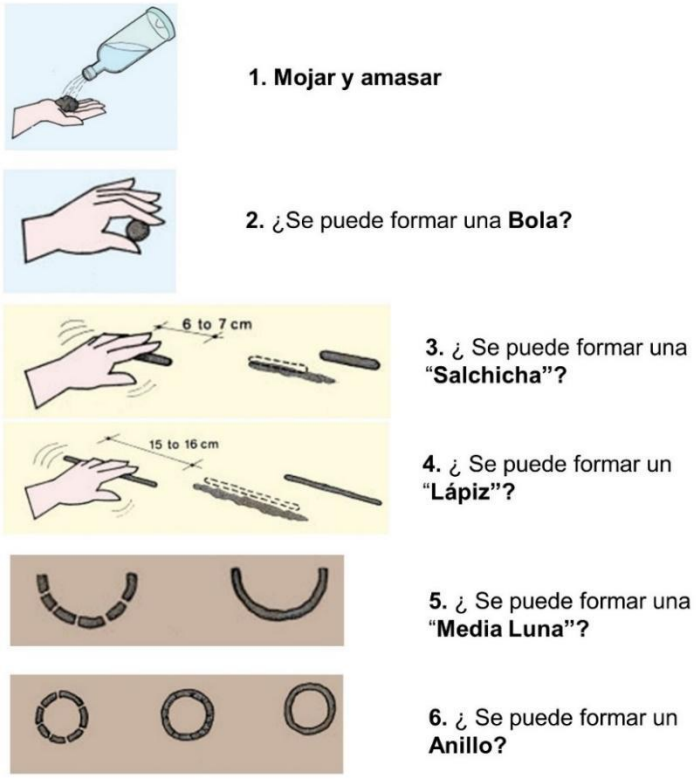


Fig. 8. Secuencia de formas para una bola de suelo, utilizada para clasificar el tipo de suelo con el método tacto de la FAO. Imágenes tomadas del sitio web: http://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706e/x6706e06.htm

3.2 pH del suelo.

3.2.1 Materiales y reactivos

3. **Medidor de pH** portátil para campo tipo "pluma" o similar, puesto en su solución de almacenamiento si es necesario (ver la sección de equipos, 2.1.1).
4. **Tampones o soluciones de calibración para el pH.** Es preferible realizar la calibración del medidor con tampones de pH 7 y pH 4, que brindarán información sobre el rango de pH más importante para suelos.
5. **Otra alternativa:** papel para pruebas de pH precisión de al menos 1 unidad, y mejor si es con gradaciones de 0,5 unidades pH – aunque se va a obtener menos precisión que en el caso de un medidor de pH calibrado.
6. **Pequeños vasos** de plástico o contenedores para 30-100 ml
7. **Una balanza** (1 g o 0,1 g de precisión) para pesar suelos y agua.
8. **Agua destilada**, o agua embotellada comprobada para impacto en la medición de pH. Para no interferir con la medición del pH generalmente hay que utilizar un agua con un bajo contenido total de minerales, o sea con un contenido de minerales como calcio o magnesio menor a 50 ppm (mg/kg) o, aún mejor, menor a 10 ppm. Se debe comprobar en la etiqueta el total de minerales disueltos para asegurarse de que sea bajo. En algunos países se vende agua de ósmosis inversa como agua embotellada. Esta agua funciona bien. También puede usarse agua de lluvia recogida en un recipiente limpio (de vidrio o plástico). Si es necesario, las lecturas pueden validarse en unos 4 o 5 suelos, utilizando un agua "candidata", en comparación con agua destilada conocida, para verificar si el uso de agua embotellada hace una diferencia para la lectura del pH.

3.2.2 Procedimiento:

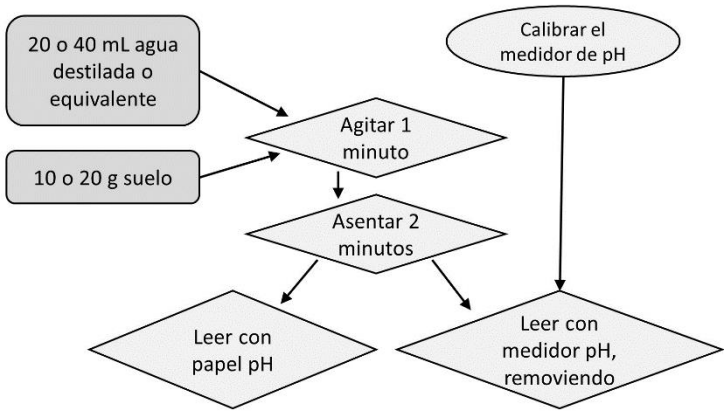


Fig. 9. Diagrama de flujo para el análisis de pH

1. **Pesar 20 +/- 0,5** g de suelo en un vaso pequeño (o solo 10 g si se desea economizar en el uso de la muestra de suelo). Si no hay balanza, se puede estimar que un volumen de 14 a 16 mL de suelo pesará aproximadamente 20 g, o utilizar otra medida de volumen si se conoce una densidad aproximada para suelos de la zona done se hizo el

muestreo. Este ajuste al método funciona porque la medición del pH del suelo es menos sensible a la relación suelo:agua que las otras mediciones químicas del suelo. En todo caso es mejor utilizar el peso indicado y no el volumen.

2. **Añadir 40 ml de agua destilada**, de lluvia, o alternativa de bajo contenido mineral, ver la sección de materiales más arriba (o solo 20 mL si se pesó solo 10 g de suelo, en todo caso el doble del peso del suelo).
3. **Mezclar el suelo y el agua**, revolver 1 minuto, y luego dejar reposar 2 minutos. Sacudir con el agua durante un minuto en un envase cerrado también puede ser muy eficaz. En este caso se transfiere luego al vaso pequeño.
4. **Dejar reposar 2 minutos o más**, mezclando de vez en cuando.
5. **Medir con el medidor de pH**: Coloque el electrodo de pH en la taza y remueva lentamente durante la medición, manteniendo el electrodo del medidor en el supernadante o suspensión superior en el vaso. Registre el pH luego de que se estabilice la lectura. El objetivo es mantener una lectura estable dentro de 0,1 unidades de pH dentro de 10-20 segundos, la variación en una escala más fina no es muy importante. Sin embargo, si el medidor cambia de una forma continua en subida o bajada, sin estabilizarse (ej. >0,1 unidad en 10 segundos), es posible que haya que hacer mantenimiento al electrodo, que puede estar ocluido.
6. **Medir con papel de pH**: luego de dejar asentarse la solución por unos minutos (para no salpicar demasiado las tiras de papel con el color del suelo), también se puede medir la suspensión superior o supernadante con tiras de prueba de color pH en intervalos apropiados (ej. tiras de papel pH de 0-14, de pH 4-7 o pH 5-8). Este papel se compara después con una carta de colores. Estas pruebas se llevan a cabo para comprobar el grado de fiabilidad, y deben conducir a lecturas que sean de 0,5 hasta 1,5 unidades de pH más bajo que con un medidor de pH. Sin embargo, si esta variación entre el medidor de pH se puede caracterizar y es más o menos constante en los suelos de una determinada zona o región, el pH con papel puede ser aceptable.

3.3 Estabilidad de agregados

3.3.1 Materiales

1. Una malla gruesa de 8 hasta 12 mm de apertura para hacer un pretamizado de los agregados y eliminar terrones y piedras grandes (Fig. 10).

Fig. 10. Ejemplos de diferentes tipos de malla que se pueden utilizar para el pretamizado de suelo en seco, con un tamaño de entre 8 y 12 mm.

2. Tamices de 2 mm (malla 10) y 0,25 mm (250 micrones, malla 60) de por lo menos 15 cm de diámetro (ver la sección 2.2.3 y la Fig. 5). El diámetro es importante para que el tamiz no se obstruya con demasiado material durante el tamizado en agua. Como se detalla en la sección 2.2.3, los tamices de 250 micrones se pueden hacer de tubo de plástico de diámetro ancho, y una malla plástica con apertura de 0,25 mm que se utiliza en la serigrafía (malla 250 micrones o malla número 60, Fig. 5).
3. Agua: agua potable del grifo, limpia, sirve bien para esta prueba.
4. Pequeños cubos o bañadores donde los tamices pueden encajar para manipularse fácilmente; es decir poder meter y sacar los tamices de las cubetas (por ejemplo, 25 cm de diámetro x 8 cm de altura; más abajo se muestran fotos)
5. Balance para pesar suelos y agregados (precisión 1g o 0.1g).
6. Aplicación de celular o de archivo de sonido que puede marcar un ritmo de 50 golpes por minuto, para marcar el ritmo del lavado de los agregados.
7. Botellas de chorro con boquillas (pisetas) que permiten el enjuague de tamices para mover y capturar suelo y agregados. Estas se pueden hacer de una botella plástica de refresco de 500 mL aproximadamente, abriendo huecos en la tapa con un chinche o una broca de taladro (~1 mm diámetro).
8. Un embudo mediano con un diámetro de 10 a 20 cm.
9. Cuadrados de tela (sábana, camiseta usada etc.) o filtros de papel para capturar, visualizar, y pesar los agregados estables que salen del análisis. Es muy útil pesar de antemano estas telas o filtros y escribir su peso sobre la misma tela o papel (a una precisión de 0,1 g) con marcador indeleble, para facilitar la pesada de los agregados en seco al final.

3.3.2 Video y otras consideraciones

1. **Video:** Un video de este método está disponible en inglés en: **https://www.youtube.com/watch?v=DucBmQBPX6Q**

Par ver un video más completo y teórico de este método, incluyendo la teoría del por qué los agregados son estables o no en agua, consulte este video en inglés, (ojo: el método adaptado en este manual es más sencillo que el presentado en este video):

https://www.youtube.com/watch?v=VOaae2bDDCY

2. **La agregación depende también de la textura del suelo**: La agregación del suelo general se relaciona con la textura del suelo, por lo que la estructura y la agregación idealmente tienen que compararse en dos suelos que sean similares en su textura si queremos evaluar los impactos del manejo sobre la estructura. Por ejemplo, si comparamos la agregación en un suelo franco arenoso (menor cantidad de arcilla) frente a una arcilla limosa (mayor cantidad de arcilla), las diferencias que observamos van a tener más relación con las diferencias en el contenido de arena y de arcilla, y no con el manejo, lo que puede invalidar la comparación.
3. **Otras pruebas relacionadas**: hay otras pruebas de estructura que se pueden realizar, tales como las evaluaciones de "porosidad del suelo" y de "estructura y consistencia del suelo", descritos en la Guía de Evaluación Visual de Suelos de la FAO por Shepherd et al. (ver la bibliografía; este documento está también disponible en la sección "Metodologías y recursos técnicos" del sitio web www.suelosandinos.org). También existe un análisis de estabilidad de suelos similar al procedimiento que describimos a continuación, que produce una calificación de estabilidad con "canastas" pequeñas de malla normal milimétrica. Este análisis aparece en la guía del kit de calidad de suelo del Servicio de Conservación de Suelos de EE.UU. (buscar la página 20 del siguiente documento):
https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044790.pdf

3.3.3 Procedimiento

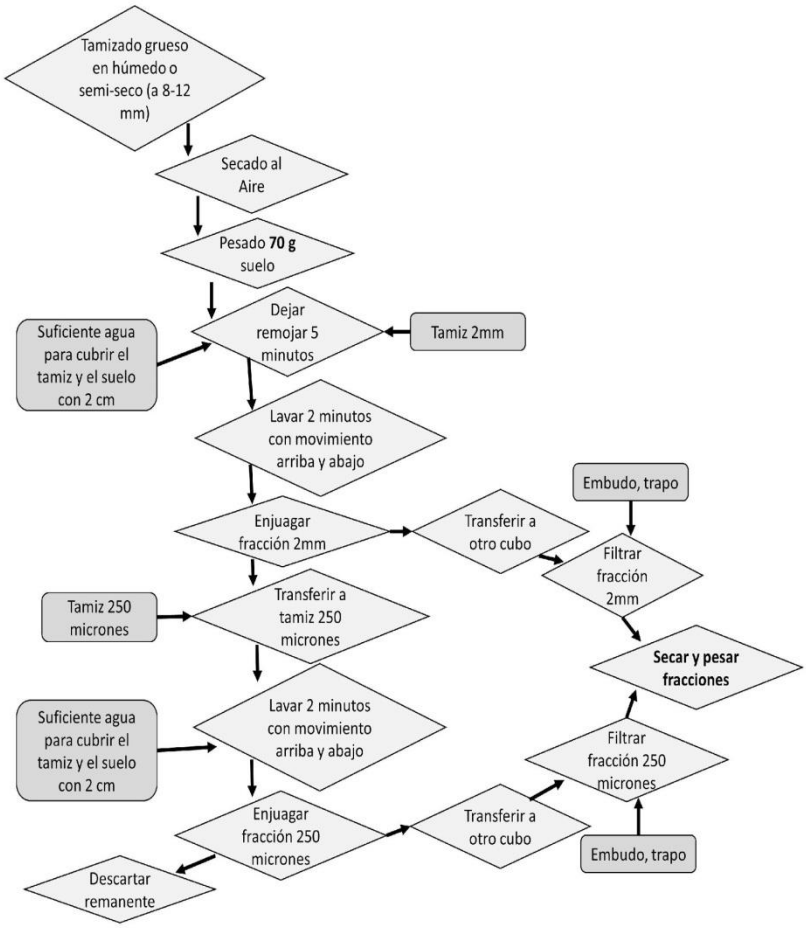


Fig. 11. Diagrama de flujo para la evaluación de estabilidad de agregados.

1. Preparar 70 g de suelo seco al aire (puede ser en horno, pero a no más de 45°C) tamizado previamente a un tamaño de entre 8 mm y 12 mm. Se puede utilizar una malla de 8 a 12 mm, o en su defecto romper los agregados mayores a 8-10 mm de diámetro (al ojo, sin la malla). Durante este proceso hay que sacar las piedras que no pasan por la malla, y también romper los terrones en los planos naturales de debilidad. Para romper los terrones de esta forma es necesario romper los agregados con las manos y no simplemente aplastar el suelo sobre una malla. De esta forma se tamiza por lo menos 500 g de suelo (para mantener una submuestra representativa) para sacar luego una parte representativa de 70 g para el análisis.
2. Colocar 70 g de este suelo en un tamiz estándar de 2 mm o similar en el cubo o bañador que ya contiene el agua (Fig. 12). Tiene que haber suficiente agua para sumergir el suelo a una profundidad de 2 cm aproximadamente.
3. Dejar reposar los 70 g de suelo remojando en el agua durante 5 minutos.

Figura 12. Adición de suelo grueso (con un pretamizado a ~10 mm) al tamiz de 2 mm en un recipiente con agua.

4. Hunda y saque el tamiz del agua lentamente, 50 veces en 2 minutos (Fig. 13). Esto se puede hacer tocando un ritmo de 50 pasos por minuto en una aplicación de metrónomo en un teléfono celular inteligente. Muchas de estas apps también pueden medir el tiempo total de tocar el ritmo para controlar la duración requerida de 2 minutos. Es decir, en un golpe del ritmo se hunde el tamiz, y en el siguiente se le levanta, para que este proceso se repita 50 veces en los dos minutos. Asegúrese de que no se esté haciendo esta acción al doble del ritmo: ***NO*** se trata de bajar y levantar el tamiz en cada golpe del ritmo, porque eso sería 100 veces en dos minutos.

Figura 13. Levantar y hundir el tamiz en el agua 50 veces en 2 minutos.

5. Después de esta acción de lavado con el tamiz durante 2 minutos, se utiliza una piseta o botella para enjuagar los lados del tamiz y lavar cualquier residuo de materia orgánica o partículas pequeñas de arcilla poniendo el tamiz hacia abajo. No hay que enjuagar fuertemente los agregados con la corriente de agua de lavado pues éstos ya fueron definidos como estables durante el lavado y no debemos ahora destruirlos por un lavado agresivo. Luego se coloca este bañador con todo el material <2mm a un lado, para el próximo lavado (paso 8).

6. Los agregados estables de 2mm (las partículas >2mm que quedaron en el tamiz), se vacían a un segundo cubo o bañador para luego capturarlos en un trapo o filtro. Para realizar esto simplemente se vuelca el tamiz, cabeza abajo, dentro de este segundo cubo, y se lavan los agregados y piedras pequeñas que quedaron en este tamiz para que caigan del tamiz al cubo. Se puede utilizar la piseta desde el lado de arriba y debajo del tamiz para lavar todo el suelo hacia el cubo. En este momento también se puede sacar cualquier palito, raíz, u otro residuo orgánico grande que haya quedado en el tamiz de 2mm, ya que estos residuos no son agregados.
7. Lavar el contenido este cubo de >2mm, que son los agregados y piedras atrapados en el tamiz de 2 mm, sobre un pequeño paño de tela o filtro de café (ver la Fig. 15). Esta fracción se pone a un lado para el secado, y se procede con el lavado de la fracción de 250 micrones.

Figura 14. Enjuagar la fracción de tamaño <2 mm hacia el tamiz de 250 micrones.

8. Ahora consideramos la fracción que pasó por el tamiz de 2 mm, que consiste en la fracción <2 mm de agregados y componentes del suelo. Vaciamos este material suavemente al tamiz de 250 micrones (0,25 mm) dentro de otro cubo pequeño igual al primer cubo, lavando todo el suelo restante en el primer cubo hacia el tamiz (Fig. 14).
9. Repita el movimiento del tamiz 50 veces en 2 minutos, utilizando una app de metrónomo, el tamiz pequeño, y el agua en el cubo. Luego de este paso, lo que queda en el tamiz va a ser una mezcla de arena fina con agregados que miden entre 0,25 y 2 mm. Al igual que con el primer lavado en el tamiz de 2 mm, es importante enjuagar esta fracción de agregados suavemente con una piseta, antes de transferirla a un trapo para el secado.
10. Lavar el contenido del tamiz (agregados y arena) con la botella de lavado sobre un filtro o tela. Esto se puede hacer directamente al embudo con el trapo (Fig. 15) o pasando por otro cubo para facilitar la transferencia de material del tamiz al cubo.

Figura. 15. Lavado de la fracción de tamaño 250 micrones a 2mm hacia un embudo con un paño para colar, secar, y pesar.

11. Las dos fracciones de agregados (>2mm más piedras y la fracción entre 250 micrones y 2mm) se secan en un lugar caliente o en horno secador (hasta 105° C puesto que nos interesa solamente el peso y no las propiedades químicas). Para una comparación rápida y cualitativa, también se puede calificar al ojo la cantidad de agregados, sin pesarlos, comparando parcelas o tratamientos experimentales con diferentes tipos de manejo, o sacando una foto de todas las muestras para documentarlas y luego compararlas.

12. Después de secar los trapos con las dos fracciones de agregados, primero se considera la fracción >2mm, donde se necesita determinar dos pesos para calcular los resultados:

a. El peso seco de cualquier piedra con diámetro >2mm, que puede ser separada del suelo con la mano o con un tamiz seco (en algunos suelos no habrán tales piedras);
b. El peso seco del trapo con el suelo, después de haber separado las piedras >2mm. Se debería anotar también el peso del trapo que, como recomendamos, debe haber sido escrito previamente en éste.

En este análisis, las piedras >2mm no se consideran suelo y no pueden formar parte de los agregados. Por esto no figuran en los cálculos para los resultados (ver sección 3.3.4).

13. Para la fracción 250 micrones a 2 mm del segundo lavado, se puede pesar simplemente el trapo con los agregados estables, y anotar el peso del trapo encontrado previamente.

3.3.4 Calcular e interpretar los resultados: Como se indicó anteriormente, para una apreciación aproximada se puede simplemente comparar los agregados estables cualitativamente (ambos tamaños, >2mm y >250 micrones) entre dos campos o sistemas de cultivos según la cantidad de agregados estables que se ven en el paño al final, siempre recordando que se debe comparar la estabilidad de los agregados entre dos suelos que tengan texturas similares. Para un resultado más riguroso se puede sacar el porcentaje de agregados estables secos que quedaron en los dos paños o filtros:

1. **Porcentaje de suelo en grandes macro-agregados (>2mm)**:
   El porcentaje de suelo en agregados >2mm se calcula simplemente con esta ecuación, con todos los pesos en g (fíjese que para este cálculo se necesita el peso del paño o filtro pesado con anticipación):

   % agregados > 2mm =

$$\frac{\begin{bmatrix}(peso\ de\ la\ fracción\ suelo > 2mm\ con\ el\ filtro\ o\ paño)\\ -peso\ del\ filtro\ o\ paño\end{bmatrix}}{70\ g - (peso\ de\ las\ piedras > 2mm)}$$

   Haciendo referencia a los pasos del procedimiento en la sección anterior, esto es:

$$\frac{\begin{bmatrix}(peso\ del\ paso\ \mathbf{12}\boldsymbol{b})\\ -peso\ del\ filtro\ o\ paño\end{bmatrix}}{70\ g - (peso\ del\ paso\ \mathbf{12}\boldsymbol{a})}$$

   Como se señaló anteriormente, si hay piedras >2 mm en esta fracción, deben separarse y pesarse. Opcionalmente, también se puede usar el peso de estas piedras como una proporción de 70 g inicial del suelo para caracterizar el pequeño contenido de piedra en el suelo.

2. **Porcentaje de agregados medianos, 250 micrones a 2 mm:** Luego se considera el paño o filtro con los agregados de tamaño entre 250 micrones y 2 mm:

   % agregados 250 micrones a 2 mm =

$$\frac{\begin{bmatrix}(peso\ de\ la\ fracción\ 250\ \mu m - \ 2mm\ con\ el\ filtro\ o\ paño)\\ -peso\ del\ filtro\ o\ paño\end{bmatrix}}{70\ g - (peso\ de\ las\ piedras > 2mm)}$$

   O, en términos de los pasos del procedimiento en la sección anterior,

$$\frac{\begin{bmatrix}(peso\ del\ paso\ \mathbf{13})\\ -peso\ del\ filtro\ o\ paño\end{bmatrix}}{70\ g - (peso\ del\ paso\ \mathbf{12}\boldsymbol{a})}$$

3. El valor de 70 g es dado porque inicialmente utilizamos 70 g de suelo. Si se cambia el peso inicial del suelo, se remplazará este valor de 70 g con el nuevo peso inicial del suelo.

4. **Interpretación de los resultados.** La siguiente tabla explica algunas pautas para interpretar los resultados, expresados como la suma de porcentajes entre las dos fracciones: 250 micrones a 2 mm y > 2mm. La tabla está separada en tres categorías de tipos de textura del suelo. Cabe enfatizar nuevamente que el grado en que un suelo puede desarrollar y mantener su estructura por la actividad de raíces, microbios y macrofauna tiene mucho que ver con su textura y otros factores, así que lo recomendable es comparar entre parcelas que tienen el mismo tipo de suelo y diferentes tipos de manejo, o tratar de medir el impacto del manejo sobre la estructura a través del tiempo.

	Calificación basada en la suma de los porcentajes de agregados estables en las clases 250 µm + % 2mm			
Tipo de textura del suelo	**Muy baja**	**Baja**	**Mediana**	**Alta**
Suelos con textura muy gruesa: arena y arena francosa.	La agregación estable no se desarrolla mucho y no es muy útil para describir la salud del suelo. Se puede observar agregación en un suelo seco, pero no se espera que sea estable en agua.			
Suelos con textura gruesa a mediana: (franco arenoso, franco, franco limoso, limos; < 35% arcilla)	<15%	15% - 30%	30% - 45%	>45%
Suelos con textura fina: (arcilla, arcilla arenosa, arcilla limosa, franco arcilloso limoso; >35% arcilla)	<20%	20% - 40%	40% - 55%	>55%

3.4. La Materia Orgánica del Suelo (MOS): a continuación se presentan tres métodos que constituyen maneras diferentes de visualizar y medir la presencia de materia orgánica en el suelo. Los tres tienen diferentes niveles de rigurosidad, se refieren a diferentes fracciones o procesos en el suelo, y también motivan diferentes aprendizajes sobre la función de la materia orgánica.

3.4.1. Prueba con agua oxigenada (bajo prueba): Esta prueba se basa en la reacción que se obtiene entre el agua oxigenada (peróxido de hidrógeno o H_2O_2), la vida microbiana y sus enzimas en el suelo. Se generan burbujas de oxígeno que vuelven a formar una espuma, y la reacción es proporcional a los fenómenos biológicos en el suelo. No es una prueba directa sobre la cantidad de residuos, humus, (o sea, formas de materia orgánica) pero se piensa que, de forma general, la vida microbiana es proporcional a la materia orgánica. A veces se utiliza para demostrar que el suelo contiene "seres vivos", con la analogía a una herida de un ser humano que también forma burbujas en el agua oxigenada. Es probable también que haya una gran influencia de las condiciones iniciales, especialmente la humedad y el grado en que los microbios están activos y produciendo activamente las enzimas. Sin embargo, puede ser útil para demostrar, de manera rápida en campo, y sin una preparación complicada de una muestra, los aspectos biológicos del suelo. Estamos validando cuál es la relación entre esta prueba de agua oxigenada y la otra prueba de permanganato que se describe a continuación, y que ya está establecida como una medición del carbón (materia orgánica) disponible.

3.4.1.1. Materiales y reactivos:

1. **Agua oxigenada** (de la farmacia; lo más conveniente es tenerla dentro de una botella con gotero)
2. **Una tapa de botella plástica**, de una botella de refresco o agua embotellada (~2 cm de diámetro)
3. **El suelo húmedo** se utiliza como demostración de campo.

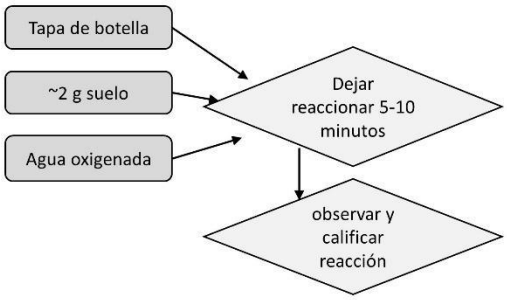


Fig. 16. Diagrama de flujo para el procedimiento de agua oxigenada.

3.4.1.2. Procedimiento:

1. En el fondo de la tapa de botella coloque suelo hasta una profundidad de 2 a 3 mm. Si el suelo no está cernido para homogeneizarlo y sacar las piedras, se debe sacar las piedras pequeñas porque no contribuyen con materia orgánica ni

biomasa de microbios a la muestra. Antes de tomar esta pequeña cantidad de prueba, mezcle completamente el suelo para homogeneizarlo y que sea representativo de la parcela.

2. Con el gotero agregue suficiente agua oxigenada como para empapar el suelo, o sea hasta que el líquido brille en la superficie del suelo dentro de la tapa.
3. Transcurridos unos segundos aparecerán burbujas, a veces hasta formar una espuma que se levanta dentro de la tapa de botella.
4. Después de 5 minutos, se puede calificar la cantidad de burbujas y la velocidad de la reacción, que es también un parámetro importante en esta prueba. Puede utilizarse una muestra de compost o estiércol húmedo de corral para comparación como un "testigo positivo", que representa un valor muy alto, lo que también validará que el agua oxigenada no haya perdido su valor como reactivo. Aunque esta es una prueba o demostración todavía en desarrollo, se propone una escala de 5 niveles (0 hasta 4), que puede ajustarse con la experiencia:

Tabla de calificación para la prueba con agua oxigenada:

0	Nada o casi nada de burbujas (como arena limpia, por ejemplo)
1	Burbujas solo en la superficie o reacción muy lenta
2	Burbujas a una profundidad de 1-2 mm, o reacción lenta con una capa más gruesa de burbujas, pero solo al final de 5 minutos
3	Burbujas a una profundidad de 5-10 mm, reacción apreciable después de solo 30 segundos
4	Muchas burbujas y una reacción rápida dentro de 30 segundos, se levanta una espuma de 10 a 20 mm; se acerca a la reacción provocada por un estiércol de corral húmedo.

3.4.2. Materia Orgánica Particulada (MOP)

Esta prueba puede usarse para mostrar de manera muy visual a los agricultores u otros interesados cómo es la materia orgánica del suelo. La MOP también puede calificarse de forma cualitativa o pesarse como una medida cuantitativa que se relaciona con los aportes recientes de materia orgánica y su descomposición.

3.4.2.1. Materiales

1. **Tamices de 2 mm y 0,25 mm** (250 micrones) de al menos 6" (150 mm) de diámetro son buenos para evitar la obstrucción con demasiado material durante el tamizado en agua. Ver la sección 2.2.3. sobre compra y/o fabricación de tamices.
2. **Para el procedimiento rápido R1 a R8, *en vez de* los tamices de 2mm y 250 micrones:**

Figura R1. La bolsa de malla y una botella de tamaño adecuado para 100g de suelo, con agujeros de 2 mm hechos con un taladro o un clavo caliente.

a. **Una botella de 200 a 400 mL aproximada,** con agujeros de 2mm (aproximadamente 200 agujeros o más), hecho con un taladro o con un clavo calentado en una llama de vela o un soplete (ver Fig. R1) Ésta remplaza al tamiz de 2mm.

b. **Una bolsa de tela de malla 60 (malla de 250 micrones),** de tamaño suficiente para que entre la botella con agujeros. Se puede coser una bolsa de malla rectangular de unos 13 x 20 cm que generalmente es suficiente para cualquier botella. Esta bolsa remplaza al tamiz de 250 micrones.

c. **Los cubos o bañadores especificados en el punto 4 de esta lista,** se remplazan con baldes pequeños de 4 a 8 litros, por ejemplo. La mayor profundidad de los baldes es para que entre fácilmente la malla con la botella adentro.

3. **Agua**: agua potable del grifo, limpia.
4. **Cubos o bañadores pequeños** donde los tamices puedan entrar fácilmente, permitiendo un lavado del suelo en agua sobre el tamiz (por ejemplo, 25 cm de diámetro x 6 cm de altura (ver Fig. 17).
5. **Balanza para pesar suelo y agregados**. Para pesar el suelo de entrada solo es necesaria una precisión de 1 g. Para pesar con precisión la MOP se puede necesitar una balanza más precisa (0,001 g o 1 mg) y puede ser mejor simplemente una calificación visual (ver la escala al final, sección 2.5.3) y guardar la muestra de MOP para pesarla después si se desea.
6. **Botellas para enjuagar** (pisetas o similar), que permiten enjuague de tamices para mover y capturar suelo y agregados. Éstas se pueden hacer de una botella plástica flexible común de agua o refresco (de 500 mL) abriendo huecos en la tapa con una aguja gruesa, chinche, o una broca fina de taladro.

7. **Taza para decantar** (vaso de precipitado de 300-500 mL, taza de medir, o frasco similar de vidrio o plástico) que permitirá decantación de la materia orgánica flotante a partir de una suspensión de agua.
8. **Embudo** de plástico o vidrio**,** diámetro entre 8-15 cm.
9. **Paños de tela o filtros** de papel para capturar, visualizar y pesar MOP, similares a los que se utilizan en la prueba de estabilidad de agregados (sección 3.3.1).

Figura 17. Preparación de la medición de MOP con el método normal, con un tamiz de 2 mm en un cubo de agua.

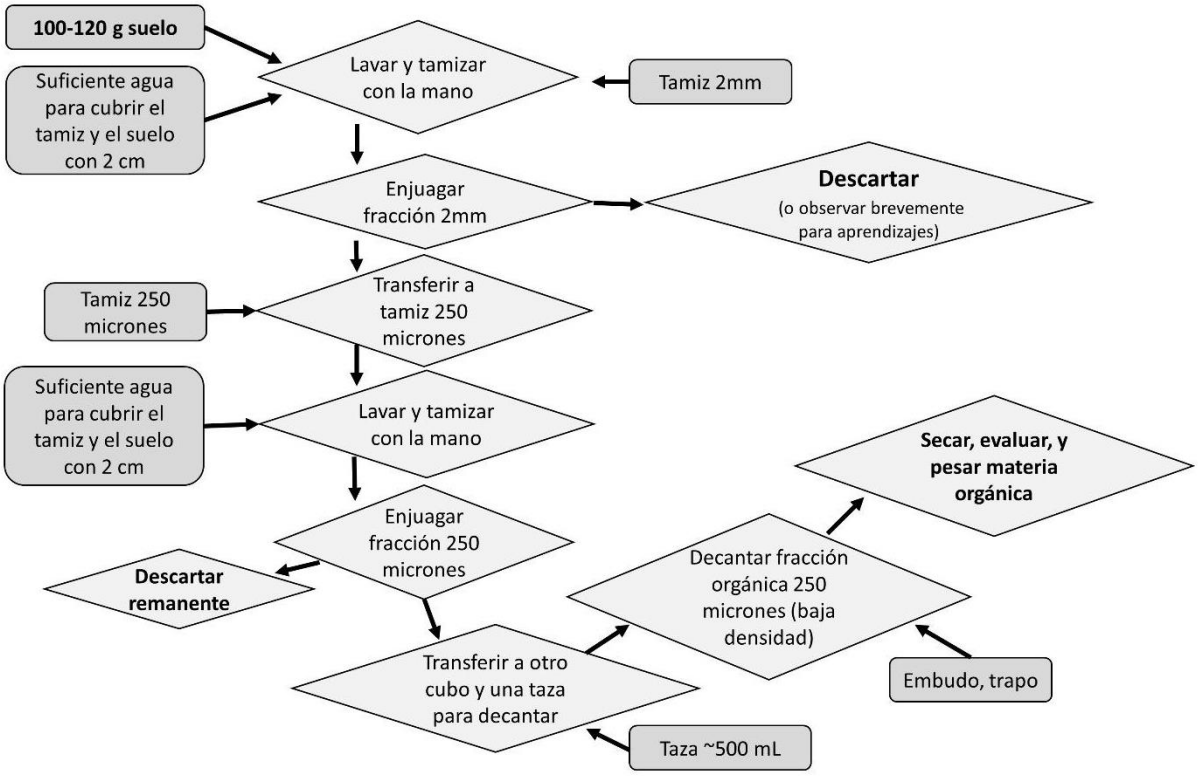


Fig. 18. Diagrama de flujo para el procedimiento de materia orgánica particulada (MOP).

3.4.2.2. Procedimiento: Hay dos procedimientos posibles. El primero es el típico que hemos desarrollado, en los pasos 1 a 14 a continuación. El segundo es más rápido si se cuenta con los materiales necesarios (ver la lista de materiales 3.4.2.1, en el punto 2). Este método rápido está descrito más adelante, en los pasos R1 a R8, después del método típico ("R" = rápido).

Procedimiento típico:

1. **Un video para este método está disponible (en inglés) en:** https://www.youtube.com/watch?v=zOrG3Ma2ceA
2. Pesar 100 g de suelo secado al aire o 120 g de suelo húmedo (Fig. 18). Si se sabe que la cantidad de MOP en un suelo es muy bajo, se puede aumentar esta cantidad hasta 150 o 200 g de suelo. En este caso será necesario ajustar la calificación cualitativa al final del análisis.
3. Colocar el suelo en el tamiz de 2 mm dentro de una pequeña cubeta con agua, para que el suelo se cubre con una profundidad de 2 cm de agua (como en el caso de estabilidad de agregados, sección 3.3.3). Fíjese que en este caso no es necesario esperar y dejar remojar el suelo antes de realizar el tamizado, como era en el caso del análisis de agregados.
4. Luego, empiece a tamizar el suelo, removiéndolo dentro del tamiz y levantándolo fuera y dentro del agua. Se puede usar la mano suavemente para romper los agregados que pueden contener partículas de materia orgánica. Tenga cuidado de no usar agresivamente la mano sobre el tamiz como para romper trozos de materia orgánica y forzarlos a pasar por el tamiz.
5. De esta forma, en el tamiz de 2mm se obtendrá dentro de poco tiempo una mezcla de piedras y MOP grande >2mm relativamente limpia.
6. Se enjuaga el tamiz (dentro y fuera) con una piseta o botella de enjuague, para lavar esta fracción de >2mm y para hacer pasar cualquier partícula <2mm hacia el siguiente paso de tamizado.

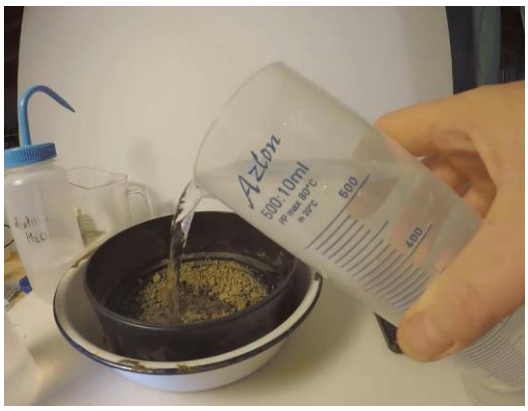


Figura 19. Adicionar agua al tamiz y cubeta (nota: no es necesario la probeta en este caso, solo un recipiente adecuado para verter el agua)

7. La fracción >2mm se pone a un lado en su tamiz. En general se descarta esta fracción, pero se puede tratar como una fracción aparte o mostrarla a los agricultores como aprendizaje sobre el procesamiento de residuos en el suelo.
8. Luego, vierta el agua y la mezcla de suelo / MOP en el cubo (la fracción <2mm) sobre el tamiz de 0,25 mm (250 micrones) dentro de otro cubo nuevo, teniendo cuidado de transferir todo el material y enjuagar el primer cubo a través del tamiz de 250 micrones. Después de esto, hay que agregar agua si falta para sumergir el tamiz y el suelo en el cubo a una profundidad de 2 cm.

Figura 20. Transferir el material que pasa el tamiz de 2 mm hacia el tamiz de 250 micrones.

9. Se repite el paso de lavar la fracción de 250 micrones sobre el tamiz en agua, utilizando la mano para romper suavemente los agregados. En este paso es preferible cambiar el agua del cubo debajo del tamiz, para quedar con una fracción más limpia de 250 micrones al final.
10. Enjuague el contenido del tamiz de 0,25 mm (por fuera y por dentro, incluyendo las manos de requerirse) y verter esta fracción (arena fina más MOP del mismo tamaño) hacia el vaso de precipitados, taza de medir, u otro contenedor para decantar (300-500 mL; ver Fig. 21).
11. Luego se decanta todo el material flotante en el vaso (u otro contenedor) para echarlo sobre un lado del tamiz de 250 micrones, y acumular esta materia orgánica en un rincón del tamiz (Fig. 21, derecha). La arena va a quedar al fondo del vaso.Se llena y se remueve repetidamente el vaso con agua para realizar esta decantación. Esta acción también tendrá el efecto de lavar la suspensión de cualquier contenido de arcilla.
12. Al terminar de decantar cada ronda, se verá una pequeña parte de las partículas orgánicas (más oscuras), pero que se quedan atrás con la arena (es decir, su densidad oscila entre la densidad de la arena y la materia orgánica flotante). Éstas son por lo general complejos orgánicos con arcilla y otras formas mixtas de materia orgánica, tal vez con un poco de carbón vegetal. Se debe hacer lo posible para capturarlos en el tamiz de 250 micrones. Sin embargo, siempre van a quedar algunos granos de este tipo y en algún momento tiene que darse por finalizada la evaluación.

13. Continuar este proceso de decantación hasta que esté clara el agua por encima de la arena lavada en el vaso de precipitados, y casi el 100% de la MOP haya sido capturado en el tamiz.

Figura 21. Izquierda: Transferir el material del tamiz de 250 micrómetros (mineral mezclado con MOP) a un vaso de precipitados para la decantación de la materia orgánica. **Derecha**: Decantación del MOP de 250 micrones a un rincón del tamiz de 250 micrones (en un borde del tamiz para facilitar mover el MOP a un embudo para el secado)

14. Transferir el contenido del tamiz de 250 micrones (Fig. 22, izquierda) a un papel de filtro o paño dentro de un embudo (Fig. 22, derecha). Este proceso puede ser más fácil si se vierte primero el contenido del tamiz a un cubo vacío (junto con agua), y luego al filtro o paño. El paño o filtro se debe pesar en seco con anticipación, para permitir que este peso seco se utilice en los cálculos finales. Un paño de color claro también permitirá la calificación visual de la materia orgánica (ver la siguiente sección) o la visualización de la MOP por participantes en talleres, o para tomar una foto para la comparación con otros suelos.

Figura 22. Izquierda: decantado MOP de 250 micrones en un borde del tamiz. **Derecha:** transferir a un paño absorbente para la visualización y/o secado del MOP.

Procedimiento Rápido:

R1. Ponga la botella con los agujeros de 2mm dentro de la bolsa de malla de 250 micrones, para formar dos "capas" de material de tamiz por las que tiene que pasar el suelo (Fig. R2).

R2. Trabajando sobre el balde de agua u otro lugar donde se puede desparramar suelo, Agregar 100 g de suelo adentro de la botella con agujeros (igual que en el método típico). Si el suelo no fue cernido anteriormente y hay piedras grandes (>5mm) es preferible sacarlas para que no presentan un sesgo en el peso total del suelo. Mientras se vierte el suelo a la botella podría escaparse un poco del suelo por los agujeros y la malla, esto no representa ningún problema.

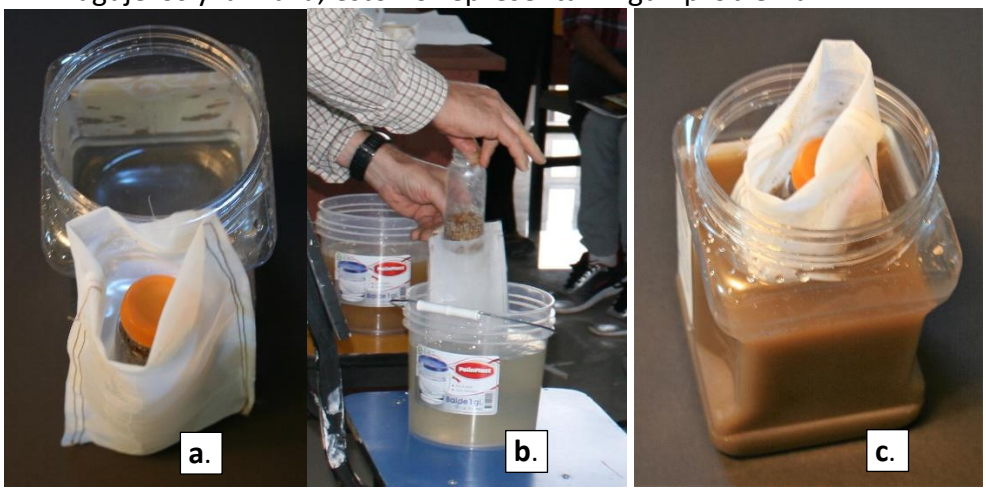


Figura R2. Imágenes del método rápido para materia orgánica particulada. (a) y (b) muestran cómo se lava en un balde la botella con suelo, que está dentro de una bolsa de malla. (c) muestra la arcilla y limo que salió del suelo durante el lavado.

R3. Agarrando la botella dentro de la malla, sumergir y sacudir la botella/malla/suelo en el balde de agua (Fig. R2). Comenzará a salir de la malla arcilla, limo, y arena fina. Cuidar que ningún suelo se salga de la boca de la botella. Este proceso se mantiene durante 3 a 5 minutos.

R4. Después de 2 a 4 minutos, examine el material que queda adentro de la botella. Este debe contener solo raíces grandes y/o piedras >2mm para continuar con el próximo paso. Si todavía hay agregados o grumos grandes, es necesario romperlos suavemente introduciendo un palo dentro de la botella, o simplemente seguir agitando la botella en el balde.

R5. Un vez que dentro de la botella solo queden piedras pequeñas, palitos, y raíces grandes, se saca la botella de la bolsa y se enjuaga la botella con la piseta u otra agua, hacia la bolsa de malla, para que el material entre 250 micrones y 2 mm se mantiene en la bolsa.

R6. Enjuague la bolsa de malla en un balde nuevo con agua limpia.

R7. Vierta el contenido de la bolsa de malla en un vaso de precipitados, taza de medir, u otro contenedor para decantar (300-500 mL; ver Fig. 21).

R8. Ahora se puede proceder con el paso 11 del procedimiento original para decantar la materia orgánica flotante en el vaso o taza de medir, y luego pasar a la sección de calificación de los resultados.

3.4.2.3. Observaciones y cálculos para calificar resultados:

1. Para generar un dato de materia orgánica particulada (MOP), una primera estrategia es simplemente hacer una calificación visual, como se demuestra en esta guía visual (Fig. 23):

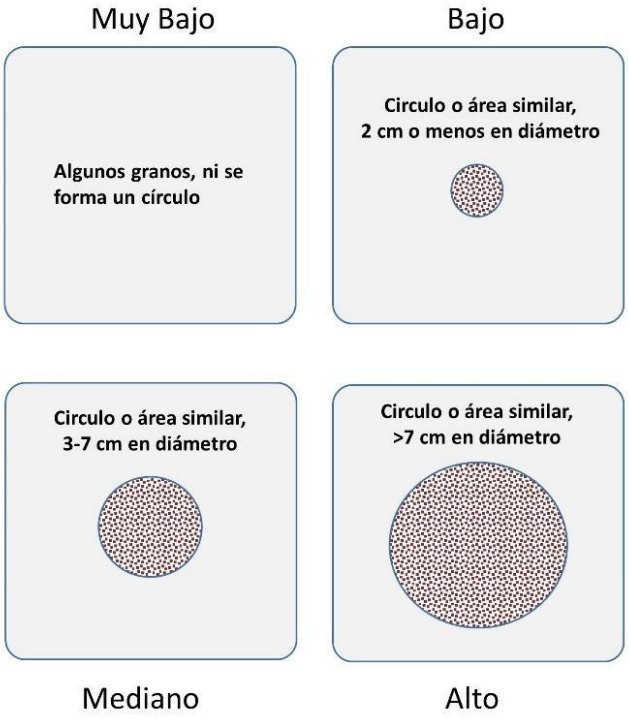


Figura 23. Guía para una calificación visual del nivel de materia orgánica particulada en esta prueba.

2. Además de esta calificación visual, se puede almacenar las pequeñas muestras de partículas MOP, secarlas al aire o en un horno (40° a 60° C), y pesarlas en una balanza de precisión (0.001 g o más precisa) para tener resultados cuantitativos de MOP seca.
3. Con este peso de la MOP, se calcula la fracción de materia orgánica particulada como:

$$\frac{[peso\ de\ las\ particulas\ entre\ 250\ micrones\ y\ 2mm]\ (mg)}{peso\ del\ suelo\ lavado\ (g)(ej.100\ g)x\ 10}$$

Este resultado se expresará en porcentajes (%), y se puede comparar entre parcelas agrícolas o prácticas en un experimento.

4. Otra alternativa es medir el volumen de MOP seco, y desarrollar un factor de conversión entre el volumen de MOP y el peso seco, basándose en un conjunto de muestras con pesos y volúmenes conocidos.

3.4.3. Carbón activo

3.4.3.1. Materiales y reactivos

1. **Agua**: A diferencia de las preocupaciones sobre el agua libre de fósforo en la prueba de fósforo disponible (sección 3.5), por lo general no hay impurezas sustanciales de carbón orgánico en los suministros de agua pública, y se puede utilizar esta fuente. Sin embargo, el costo adicional de usar agua embotellada (para la solución de digestión) –que es baja en sales y materia orgánica– es bajo, por lo que es una opción recomendada.
2. **Permanganato de potasio** ($KMnO_4$). Se adquiere localmente o se puede enviar en pequeñas cantidades. Es importante asegurar que se comporte de la manera indicada en este método, ya que el $KMnO_4$ deteriora a otras formas de óxidos K-Mn (con un color verdoso, que es una manera de ver si está vencido el reactivo) lo que impedirá una medición confiable. Una forma es comprobar la fuente de procedencia del $KMnO_4$ es hacer el mismo análisis con un lote "puro" o confiable, en comparación con un lote a probarse.
3. **Cloruro de calcio** ($CaCl_2$). Es más fácil de encontrar que otros reactivos (por ejemplo, en las casas de suministro de la industria alimenticia local). Solo se utiliza en la solución como un floculante del suelo y es posible que el cloruro de magnesio también funcione (es el ion divalente Ca^{++}, o al contrario el ion Mg^{++}, que es importante).
4. **Ácido cítrico o jugo de limón. N**o es necesario para el análisis, pero sirve para limpiar manchas de $KMnO_4$ de los envases utilizados en el método, los cuenta gotas, etc.
5. **Tubos de centrífuga** (50 mL) u otros contenedores pequeños, de 50 a 100 mL, para agitar la solución de digestión con el suelo y dejar asentar la suspensión.
6. **Suelo tamizado a 2 mm** y secado al aire (si es necesario utilizar suelo húmedo, se tiene que aplicar una corrección para el contenido de agua (ver el apéndice A para un método de estimar la humedad del suelo visualmente)
7. **Solución de digestión**: 0,015 M permanganato de potasio ($KMnO_4$) + 0,1 M cloruro de calcio ($CaCl_2$) en la MISMA solución. Ver la receta en esta misma sección.
8. **Frasquitos de vidrio transparentes** de 11 ml, con un diámetro de 0,75 pulgadas, para realizar la lectura de color con el colorímetro marca Hanna (ver las fotos más abajo y la sección equipos 2.1.3).
9. **Tubos de centrífuga para diluir** (50 ml), u otro frasco pequeño (uno por muestra), para diluir la solución digerida con suelo antes de realizar la lectura.
10. **Gotero graduado o pipeta de transferencia** graduada con mediciones de volumen. Se pueden comprar con graduaciones de 0,5 mL. También se puede hacer un gotero graduado a un volumen de 0,5 mL con una balanza de precisión para marcar el nivel en el que el gotero contiene 0,5 mL (= peso de 0,5 g).

3.4.3.2. Receta para la solución de digestión de $KMnO_4$ / $CaCl_2$

Esta es una solución de 0.015 $KMnO_4$ y 0.1 M $CaCl_2$ en la *misma* solución. El método original publicado por Weil et al. (disponible aquí) utiliza una solución 0,02 M de $KMnO_4$, pero

estamos tratando de ahorrar en reactivos y, por tanto, de utilizar una solución ligeramente más diluida.

Para cada 100 mL de solución (multiplicar en caso de volúmenes más grandes):

1. Medir con una probeta, o pesar, 100 mL (que es igual a 100 g agua) en una vaso de precipitado o botella trasparente (para poder ver que se disuelvan los reactivos).
2. Agregue 1.11 g de CaCl2 a cada 100 mL de agua. Para volúmenes mayores a 100 mL, multiplique la cantidad de $CaCl_2$ proporcionalmente al volumen, ej. para 1000 mL o 1 L, multiplicar por 10 = 11.1 g $CaCl_2$.
3. Mezcle bien la solución hasta disolver todo el cloruro de calcio. Si se hace la solución dentro de una botella, se puede tapar la botella y agitar para disolverlo rápido.
4. A esta misma solución, agregue 0.237 g $KMnO_4$ (permanganato de potasio) por cada 100 mL de solución (o 0.24 g si solo hay una balanza de precisión 0.01 g). Agite hasta mezclar completamente las partículas de $KMnO_4$. Tenga en cuenta que esta es una cantidad bastante pequeña para muchas balanzas que no son de precisión, así que es mejor hacer un volumen más grande de solución, por ejemplo 500 mL (con 1,185 g $KMnO_4$), para lograr una mayor precisión al pesar el permanganato. Otras cantidades de solución también son posibles.
5. Es mejor hacer sólo lo suficiente de esta solución, más un margen pequeño, para analizar un lote de suelos, calculando 20 mL para cada análisis. Si se va a guardar la solución entre evaluaciones (menos de una semana), hay que tapar la botella de la luz o utilizar una botella oscura para que el $KMnO_4$ no se descomponga.
6. Si desea almacenar esta solución para usarla en las siguientes semanas hasta un mes, se puede agregar una pequeña cantidad de NaOH para ajustar su pH hasta 7,2 (justo después de mezclar, tendrá un pH de alrededor de 5,7 si se utilizó agua destilada). El pH neutro (7,2) ayudará a preservar el $KMnO_4$ en solución. La solución se puede almacenar unas semanas en un refrigerador en una botella oscura. Sin embargo, es mejor mezclar la solución en pequeños lotes y utilizar toda la solución en unos cuantos días.

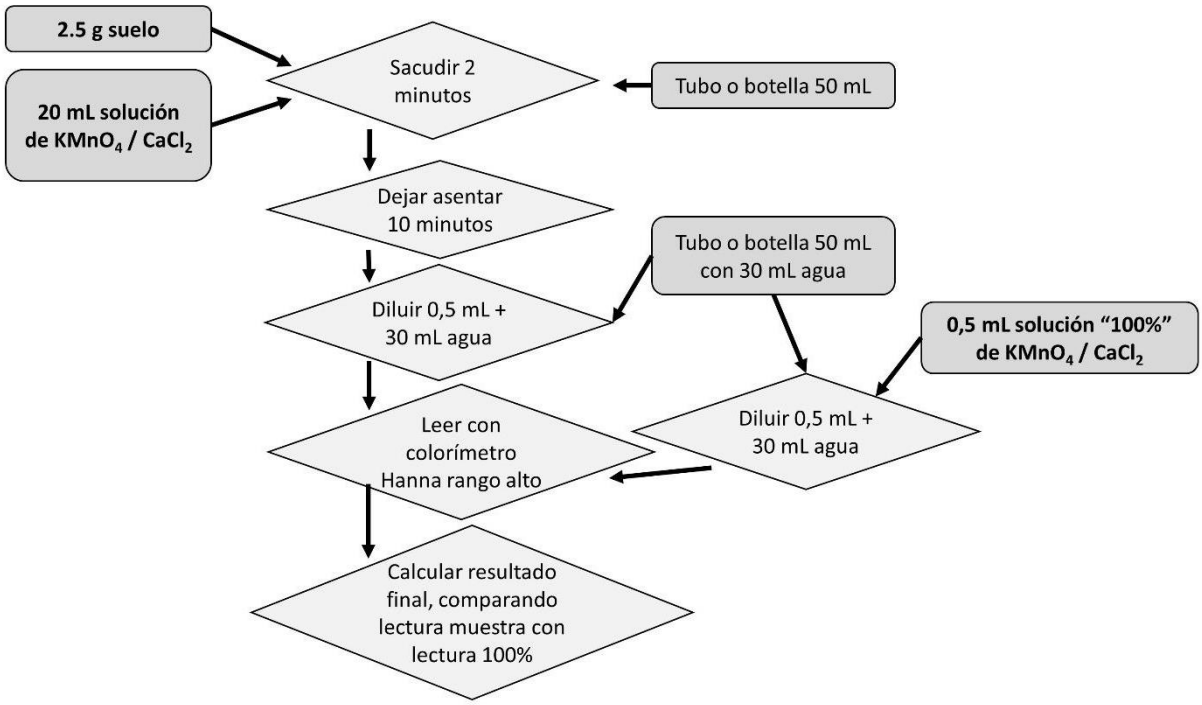


Fig. 24. Diagrama de flujo para el procedimiento de carbón oxidable por $KMnO_4$ ("carbón activo" o *POXC*).

3.4.3.3. Procedimiento (Fig. 24)

1. **Un video para este método está disponible (en inglés) en:** https://www.youtube.com/watch?v=89Bn5P4y3n4&t=601s
2. Mezclar aproximadamente 2,5 g de suelo en 20 mL de solución de digestión (según la receta descrita anteriormente). Anote el peso exacto del suelo para los cálculos al finalizar (más adelante se muestra el ejemplo de la hoja de datos). Se puede pesar más suelo (ej. 3,5 g) si de entrada se estima que el suelo contiene niveles muy bajos de carbón. En suelos muy altos en materia orgánica, se pesa menos suelo.
3. Agitar 2 minutos, sacudiendo con la mano o con una máquina de agitar.
4. Dejar reposar 10 minutos. El $CaCl_2$ hará que la arcilla flocule y se asiente, para dejar una solución transparente, salvo por el color del $KMnO_4$. Mantener los tiempos exactos en este paso y en el anterior es muy importantes, ej. no más de 20 segundos de imprecisión en la agitación y no más de un minuto de imprecisión en el periodo de reposo de la suspensión.
5. Durante este tiempo, si no se ha hecho anticipadamente, hay que llenar un segundo tubo de centrífuga o botella con 30 mL o 30 g de agua, para preparar una dilución de 0,5 de solución $KMnO_4$ + 30 mL de agua. Esta dilución permitirá la lectura del color en el colorímetro.
6. Diluir la solución asentada del $KMnO_4$ en el tubo con 30 mL de agua (la solución $KMnO_4$ tal como está es muy oscura para leer). Tomar 0,5 ml de esta solución asentada con un gotero graduado o pipeta de transferencia para medir un volumen de 0,5 mL, y añada a los 30 ml de agua en el tubo. Enjuague también la pipeta o gotero con estos

mismos 30 mL (chupando y expulsando) para efectuar la transferencia de todo el color al tubo.

7. También se necesita un tubo que contenga la solución "testigo" de 100% de KMnO4 para la comparación (sin haber reaccionado con suelo), diluida de la misma forma: 0,5 mL + 30 mL. Para este propósito se saca 0,5 mL de la solución directamente de la botella donde se preparó, para diluir en otro tubo con 30 mL de agua.

8. El paso final de la medición es leer el color de la solución de la muestra del suelo diluida (paso 5) y después leer el color del testigo (color de la solución a 100%, paso 6). La medición con el colorímetro se hace de la siguiente forma (consulte también las figuras 25 y 26):

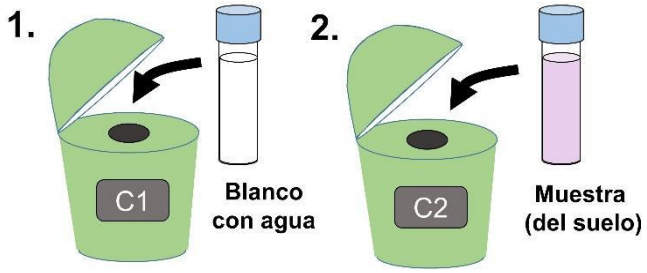


Figura 25. Lectura con el colorímetro de la muestra reaccionado con suelo.

a. En ambos casos se compara el color de la solución con un frasquito de agua limpia (sin color) que se llama el 'blanco'. Hay que llenar un frasquito con agua y taparlo para este propósito.
b. Introducir este frasquito blanco en el colorímetro (Fig. 25).
c. Empujar el botón para prender el colorímetro y esperar que aparezca "C1" en la pantalla.
d. Volver a empujar el botón para medir el frasquito en blanco, y esperar que aparezca "C2" en la pantalla.
e. Verter aproximadamente 10 mL de la solución reaccionada con suelo y diluida (paso 5) en otro frasquito limpio e insertar en el colorímetro. Empujar el botón.
f. Esperar el valor del resultado en la pantalla, generalmente entre 0 y 22 de valor.
g. Para medir el valor del testigo de 100%, se repiten los pasos (b) hasta (f), insertando un tercer frasquito con la solución a 100% diluida (del paso 6) en vez del frasquito con la solución reaccionado con suelo en el paso (e) (compara Fig. 25, paso 2 con Fig. 25, paso 2).

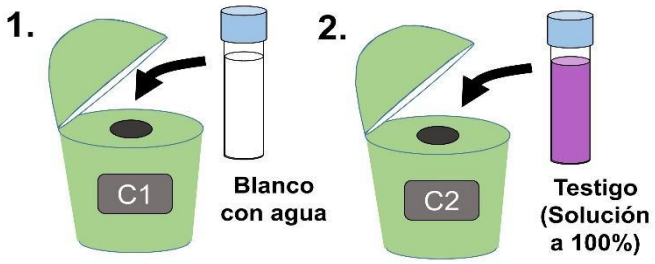


Figura 26. Lectura del testigo 100% de $KMnO_4$ con el colorímetro.

h. No es necesario repetir la medición de la solución 100% para cada muestra de suelo. Se puede volver a medir la solución testigo de 100% solo cada 3 o 4 muestras. En los cálculos que se describen a continuación, para este valor se utilizan las dos mediciones más cercanas al 100%.

3.4.3.4. Cálculos para determinar el carbón oxidable o carbón activo:

Debe anotar tres datos para cada muestra: el peso del suelo introducido a la prueba (cerca de 2,5 g, por ejemplo), la lectura de la muestra reaccionada con suelo en el colorímetro, y la lectura de la solución de 100% del $KMnO_4$ (sin reaccionar con el suelo). Notamos aquí de entrada que si la solución de la muestra pierde gran parte de su color, significa que había mucha oxidación de carbón en el suelo y el valor de carbón activo va a ser más alto. Cuando no hay mucho cambio en el color, el nivel de carbón activo es bajo.

Ejemplo: Digamos que se pesaron exactamente 2,50 g de suelo para analizar, que la lectura de la solución 100% es de 17,6, y que la lectura de la muestra de suelo es de 13,2. El resultado de carbón activo o POXC se calcularía de esta forma:

1. Primero se calcula el cambio en la concentración de la solución del KMnO4 de la siguiente forma:

$$\boldsymbol{cambio\ en\ concentración\ KMnO_4} = \left(1 - \frac{lectura\ de\ la\ muestra}{lectura\ de\ la\ solución\ 100\%}\right) \times 0{,}015\ M$$

Donde la cantidad 0,015 M representa la concentración de la solución de 100%. Se puede ver que si la lectura de la muestra es muy cercana a la lectura de la solución 100%, entonces el cambio calculado es muy poco. En este caso se obtiene:

$$\left(1 - \frac{13{,}7}{17{,}6}\right) \times 0{,}015\ M = \mathbf{0{,}00375\ moles/litro}$$

Recordando que la unidad M quiere decir moles/litro.

2. Este resultado representa el cambio en la concentración de KMnO4 en moles/litro provocado por el carbón en el suelo. Lo que queremos ahora es calcular el cambio en la *cantidad* (no la concentración) de KMnO4 en el tubo, y para esto multiplicamos por el volumen de solución utilizado (20 mL, pero expresado en litros = 0,02 L):

$$\boldsymbol{Cambio\ en\ cantidad\ de\ KMnO_4} = 0{,}00375\ M/L \times 0{,}02\ L = \mathbf{0{,}000075\ M\ (moles)}$$

Utilizando el resultado anterior,

$$\boldsymbol{Cantidad\ de\ C\ que\ se\ oxidó\ (mg)} = cambio\ en\ cantidad\ KMnO_4 \times 9000$$

3. Para convertir esta cantidad en moles a mg de carbón activo en el suelo oxidado por el KMnO4, los autores de esta prueba determinaron que con un factor de conversión de 9000 se puede utilizar:

$$\boldsymbol{Cantidad\ de\ C\ que\ se\ oxidó\ (mg)} = 0{,}000075 \times 9000 = \mathbf{0{,}675\ mg}$$

Otra vez refiriéndose al ejemplo,

$$\boldsymbol{Cantidad\ de\ C\ que\ se\ oxidó\ (mg)} = 0{,}000075 \times 9000 = \mathbf{0{,}675\ mg}$$

4. Luego se divide por el peso inicial del suelo para encontrar un resultado en mg/kg o ppm, teniendo en cuenta que 1 g = 0.001 kg:

$$\textbf{Contenido de C activo en suelo} = \frac{Cantidad\ de\ C\ oxidado\ (mg)}{peso\ inicial\ de\ suelo\ (kg)}$$

y con los datos del ejemplo,

$$\textbf{Contenido de C activo en suelo} = \frac{0{,}675\ mg}{0{,}0025\ kg} = \textbf{270 mg/kg}$$

Tomando en cuenta que los 2,5 g de suelo inicial equivalen a 0,0025 kg

5. Comparando con la figura 27, este es un valor bajo a mediano respecto a un conjunto de suelos de parcelas agrícolas de Bolivia.

En la figura 27 se indica el rango de valores típicos de POXC o carbón activo del suelo, en un gráfico que muestra resultados de campos de campesinos de la cordillera de Bolivia.

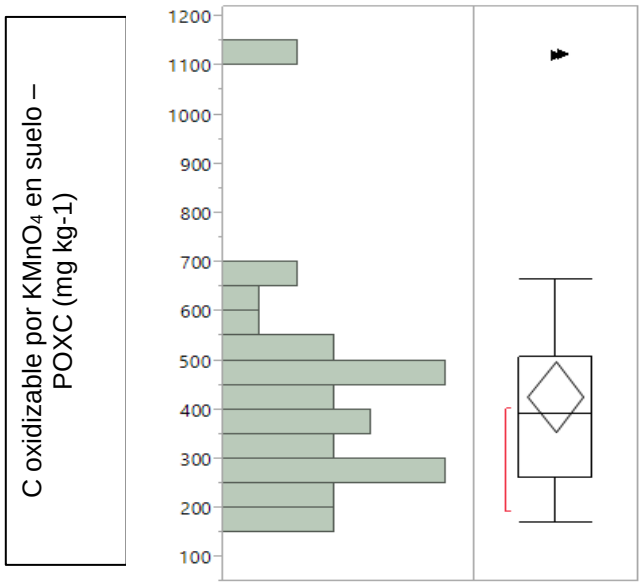


Figura 27. Distribución de valores de carbón activo (POXC) medido con este método, registrados en 17 parcelas de Potosí, Bolivia, con un gráfico de caja y bigotes a la derecha. Los dos valores altos atípicos en la parte superior son suelos turbosos de elevaciones altas (tierras negras), pero estos niveles también pueden ocurrir en suelos que son enmendados frecuentemente con compost y estiércol.

Tabla de calificación de resultados para la prueba de carbón activo (POXC):

Valor de carbón activo (rangos, mg/kg)	Calificación	Descripción
<250	Muy bajo	Indica que el suelo probablemente no ha recibido insumos orgánicos por muchos años, o que en parte está formado de subsuelo a causa de la erosión. Estos valores también ocurren con más frecuencia en suelos de zonas calientes o de textura arenosa, donde los residuos se descomponen más rápidamente.
250-400	Bajo	Indica un suelo que requiere más insumos orgánicos o residuos para apoyar a la vida microbiana, la capacidad de retención de agua, y para contribuir a una estructura física (agregación) fuerte.
400-600	Mediano	Es probable que la materia orgánica del suelo esté apoyando a los ciclos biológicos de nutrientes, la retención de agua, y otros beneficios en el suelo. Estos valores también son más frecuentes en suelos con textura arcillosa, que acumulan más fácilmente la materia orgánica. Por el contrario, en un suelo arenoso estos valores representan niveles excelentes de materia orgánica.
600-100	Alto	El suelo tiene niveles altos de materia orgánica que pueden resultar de remanentes de un bosque o vegetación de llano o pradera, o de un esfuerzo especial de aumentar la materia orgánica mediante insumos, incorporación de residuos, o prácticas de descanso.
>1000	Muy alto	Estos valores muy altos se encuentran solo en huertas caseras que reciben bastante estiércol, suelos recientemente convertidos de bosque o vegetación de llanos, o en suelos turbosos de altura. Sin embargo estos valores no se encuentran fácilmente en sistemas más extensivos con cereales o tubérculos donde el nivel de insumos disponibles no alcanza para la superficie cultivada.

3.4.3.5. Ejemplo de tabla de datos y de un esquema para realizar evaluaciones de varias muestras en secuencia:

Muchas veces se quiere hacer el análisis de varias muestras en secuencia (10 o más muestras). Para esto es importante mantener los tiempos exactos del análisis (todas las muestras se deben agitar 2 minutos y dejarlas asentar 10 minutos). La siguiente tabla muestra una forma de anotar los datos de carbón activo y también incluye los tiempos precisos necesarios para cada muestra, desde el “tiempo de inicio": cuando las muestras se añaden a la solución; el "tiempo de asentarse": cuando se dejan reposar después de agitar, dos minutos más tarde; y el "tiempo de medición”: cuando deben ser leídos con el colorímetro. Si dos personas están trabajando juntas, 5.5 minutos entre las muestras secuenciales es un tiempo adecuado para los diferentes pasos necesarios para sacudir y leer las muestras y evaluarlas en cadena una tras otra. Es importante que las muestras se lean 10 minutos después de que se han dejado asentar. La lectura puede demorar un poco a medida que se trabaja a través de la lista de muestras, pero trate de no tener más de 1 minuto de retraso para obtener así los mejores datos. Si se trata de datos que tienen que ser rigurosos y comparables, como en el caso de un experimento, es preferible practicar una vez con muestras en secuencia que no sean importantes (un lote de 3-4 muestras “desechables”) antes de empezar con aquellas muestras donde los datos sí son importantes.

Tabla de datos para la prueba de carbón activo, incluyendo los tiempos para realizar los diferentes pasos para múltiples muestras.

Nombre de la muestra	Peso (g)	Tiempo de inicio	Tiempo de asentamiento	Tiempo de medición	Valor medido en el colorímetro
101	2.52	0	2	12	13.7
102	2.47	5 .5	7.5	17.5	5.2
Testigo	--				17.4
etc.	2.54	11	13	21	etc.

3.5. Fósforo extraíble (método Olsen)

Video en YouTube (inglés)**:** **https://www.youtube.com/watch?v=R1lFrMjoraE**

3.5.1. Materiales y reactivos

1. **Agua "libre" de fósforo (P)**: en general, el agua del grifo (suministro de agua pública) tiene demasiado fósforo (P) para ser útil. Hemos probado diferentes marcas de agua embotellada en varios países y generalmente hay una o dos marcas que tienen un nivel de P por debajo de 0,5 ppm (mg/L) que la vuelve aceptable para este método (incluso, hay algunas marcas que no tienen ningún P detectable; otras publican sus valores de análisis químicos en la etiqueta de la botella, y si el contenido de fosforo (P) está en 0.5 ppm o menos, el agua es útil para la prueba).

   Prueba de contenido de fósforo (P) en el agua:
   En caso que se quiera probar el nivel de fósforo (P) en el agua, se puede realizar con el siguiente método y los mismos reactivos y colorímetro que se utiliza en la prueba de suelo, como sigue:
   - Colocar 10 mL del agua a ser probada en un frasquito para el colorímetro, y 10 mL en otro frasquito para una medición en blanco sin color.
   - A uno de los frasquitos, agregue un paquete de reactivo como se detalla en el paso 14; **Ojo**: no es necesario neutralizar la muestra de agua con bisulfato de sodio como en el método de suelo, acá se procede directamente a agregar el reactivo.
   - Tape el frasquito con el reactivo, agite bien, y espere 10 minutos. En general el agua revela o un color azul muy débil, o ningún color evidente.
   - Lea el color del frasquito con el colorímetro, tal como se describe en el paso 17. El número que aparece en el colorímetro se debe restar de la lectura de fósforo en el extracto del suelo antes de realizar los cálculos de concentración de P en el suelo (Ver el final del procedimiento). Si el número que se lee es cero, no se aplica ninguna corrección.
2. **Bicarbonato sódico ($NaHCO_3$):** Debe ser también lo suficientemente bajo en P para no introducir errores en el método, como se ha descrito anteriormente. Pruebas en Malawi, por ejemplo, mostraron que el bicarbonato de sodio comprado en los supermercados tenía niveles bajos de P (aunque todavía se podría utilizar), pero esto también debe ser probado. Por supuesto lo mejor es encontrar un proveedor de reactivos químicos para comprar este reactivo (y aún así hay que probar el material).
3. **Hidróxido de sodio (NaOH),** no es necesario usarlo en grandes cantidades en la solución, por lo que no contribuirá con grandes cantidades de impurezas, pero aun así, vale la pena saber cuál es el contenido de P y que sea bajo es importante.
4. **Bisulfato de sodio** ($NaHSO_4$ sólido) para acidificar el extracto del suelo en preparación para la reacción de color; aproximadamente 0,45 g por muestra.
5. **Paquete de reactivos** de marca Hanna para fosfato: reactivo LR de fosfato (Hanna, número de producto 93713-03, ver la sección sobre materiales y reactivos en la primera parte de este manual).
6. **Balanza**, mejor si es de 0.01 g de precisión

7. **Solución de extracción de Olsen** (*Ver la receta a continuación*). Esta solución no mantiene sus propiedades y es mejor prepararla poco antes del análisis (máximo 2-3 días).
8. **Colorímetro de campo Hanna** de rango alto (ver sección introducción y equipos).
9. **Probeta de 25 mL** con graduaciones (ver las figuras 29 y 34, por ejemplo)
10. **Un frasco o tubo** para agitar y extraer el suelo con la solución Olsen, que puede ser una botella de plástico de 250 ml bien lavado (<300 mL, por ejemplo) o un tubo de centrífuga de 50 mL.
11. **Una segunda botella para realizar la filtración,** con una tapa más ancha, por ejemplo de 4 cm de diámetro, que puede tener 300 a 500 mL de volumen, ej. de leche o de yogurt con tapa ancha (~4cm). Esta segunda botella se modifica con agujeros perforados en la tapa con una aguja de costura, moviendo la aguja desde el interior hacia el exterior. Si el interior de la tapa no está totalmente plana y tiene un anillo levantado adentro para sellar con la boca de la botella, es necesario sacar este anillo. Ver el video en https://www.youtube.com/watch?v=FEcQOSA_ur4 sobre el aparato de filtración que se puede construir.
12. **Importante**: Ambas botellas tienen que estar bien lavadas con agua y enjuagadas con agua de botella limpia o agua destilada, para no contaminar la muestra con P soluble.
13. **Filtros de papel**: filtros de café en forma de cono para cortar círculos, o filtros de laboratorio (Whatman #5, ver la sección de equipos). Si los suelos son muy arcillosos, los filtros de café se van a tapar y son demasiado lentos, por lo que en este caso se requieren filtros #5 de laboratorio.
14. **Frasquitos transparentes de 11 ml**, 0,75 pulgadas de diámetro que se utilizan con el colorímetro de Hanna para la lectura del color azul de la reacción con fosfato.
15. **Copas plástica**s para captar el extracto filtrado y para acidificar el extracto (2 tazas por prueba; las medidas estimadas son una boca de 6 cm y de 8 cm de altura).
16. **Una piseta o botella con boquilla** para enjuagar facilitará el enjuague.

3.5.2. Preparación de la solución de Olsen P:

1. La definición estándar de solución de extracción de Olsen es una solución de 0,5 M (moles por litro) de $NaHCO_3$ ajustada a pH 8,5 con la cantidad requerida de NaOH.
2. Por cada 100 mL de solución, poner 100 mL de agua "libre de P" en una botella limpia (enjuagada con agua libre de P) y agregar 4,20 +/- 0,01 g de $NaHCO_3$ (0,05 moles). Es mejor preparar sólo lo suficiente, más un pequeño margen para cada trabajo de análisis, para utilizar dentro de unos días. Cada análisis utiliza 25 ml de solución.
3. Remueva o agite la solución hasta que todo el $NaHCO_3$ se disuelva. Esto puede tomar 5 a 10 minutos, porque no es una sal muy soluble.
4. El pH de esta solución será de 7,7 o 7,8 aproximadamente. Tras medir el pH de la solución con un metro de pH calibrado o tiras de papel de pH, hay que agregar pequeñas cantidades de NaOH (ej. 0,1 g si se trata de 100 mL, 0,2 g si hay más solución) con una espátula o cuchara pequeña, mezclar bien, y medir de nuevo. Agregue NaOH, removiendo cada vez, hasta que la solución tenga un pH de 8,5 +/- 0.05 (o sea, cualquier valor entre 8,45 y 8,55 es aceptable).

3.5.3. Preparación de solución 150 g/litro de bisulfato de sodio

1. Para cada 100 mL, agregue 15 g de NaHSO4. 100 mL de solución sirven para 33 muestras, por lo que generalmente solo es necesario hacer 100 mL. Esta solución se puede guardar un mes, o más si se refrigera.
2. Mezcle bien la solución para diluir el bisulfato, y guárdela en una botella pequeña en la que pueda entrar un gotero para agregar la solución a cada muestra (ver el método más adelante, después del diagrama de flujo)
3. **PARA USAR EL ÁCIDO DE BATERÍA DILUIDO COMO UN SUSTITUTO**: con cuidado, usando guantes y gafas, y en un espacio bien ventilado o al aire libre, diluya el ácido de la batería v: v 3 + 1 (3 de agua + 1 de ácido; utilizar solo agua "sin fósforo" considerado anteriormente en los materiales). Esta concentración de ácido (~7,5%) ahora se puede manejar en una botella de plástico y con un cuentagotas, sin representar un riesgo de inhalación. Aún así se debe tener cuidado porque este acido puede destruir la ropa y quemar la piel si no se enjuaga con agua después del contacto.

3.5.4. Procedimiento (Fig. 28):

Un video para este método está disponible en YouTube (en inglés) en:
https://www.youtube.com/watch?v=R1lFrMjoraE

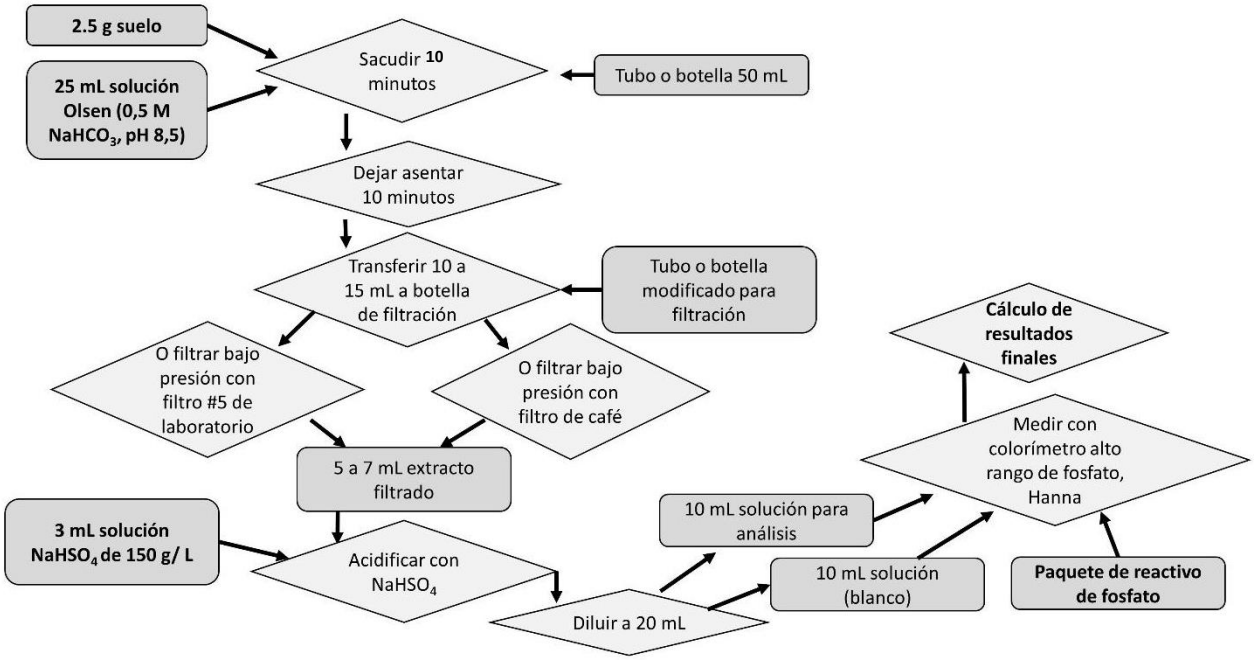


Fig. 28. Diagrama de flujo para el procedimiento de fósforo (P) disponible.

1. Pesar 2,5 g de suelo tamizado (2mm) en la botella de plástico de 250 ml.
2. Usando una probeta agregar 25 mL de solución de Olsen a la muestra de suelo en la botella o tubo de centrífuga (cuando se hace muchas muestras, la solución también se puede

medir o pesar en botellas previamente a la medición, mejor dentro del mismo día o la noche anterior por que la solución no se mantiene si pasa más tiempo).

Figura 29. Añadir 25 mL de solución de Olsen a 2,5 g de suelo en una botella de jugo reutilizada.

3. Cerrar la botella con la tapa y agitar 10 minutos. Para que sea más fácil y combinar con otros trabajos del análisis, se puede alternar entre agitar y dejar en reposo la botella mientras se hace otras tareas de análisis.
4. Dejar asentar 10 minutos. Algunas de las arcillas se van a asentar durante este tiempo, pero no es necesario una solución trasparente.
5. Ahora hay dos alternativas para filtración: con papel de laboratorio de filtro, Whatman #5 (con poros de 2,5 micrón), que es más garantizado; o con papel de filtros en cono para café, que puede servir para suelos de textura liviana. En ambos casos, se utiliza otra botella para realizar la filtración bajo presión, con un filtro insertado en la tapa, y con huecos en la tapa. Es esencial practicar este paso para ganar confianza en producir un extracto filtrado sin turbiedad (contenido de arcilla):

En el caso del papel filtro de café:

- **a.** Transferir la supernadante (suspensión de arcillas en la parte superior de la botella) de la botella de extracción hacia otra botella de filtración. Esta botella tiene que tener una tapa con superficie plana adentro para colocar un filtro en forma de un círculo, y huecos pequeños en la tapa (<1mm diámetro) para dejar fluir el líquido filtrado. Para más detalles sobre el método de filtración, consulte el video de instrucciones en la parte inicial de este método.
- **b.** Se inserta un círculo doble de papel de filtro de café (capa doble) en la tapa perforada de esta botella (Fig 30). Luego se voltea la botella y con las manos o con una prensa de madera, se presiona la botella hasta que salgan las gotas.
- **c.** Las primeras gotas van a salir con bastante arcilla o turbiedad, pero después deberían volverse más transparentes. A veces puede aparecer un color café claro, pero no representa ningún problema.
- **d.** Después de botar las primeras gotas con arcilla, empiece a recolectar las otras gotas en un nuevo vaso limpio hasta tener un volumen de entre 5 y 7 mL (Fig. 31); 7 mL es lo indicado si no se presentan problemas en recolectar esta solución. Este proceso

puede tomar hasta 10 minutos por lo que se recomienda el uso de una prensa para poder desocupar las manos, especialmente si hay varias muestras a analizar.

Figura 30. Añadir el papel de filtro doblado bajo la tapa de la botella

Figura 31. Presionando gotas claras de líquido a través del filtro a un vaso plástico.

En el caso del papel Whatman #5 de laboratorio, con poros de ~2,5 micrones

a. Deje la botella de extracción sin moverla mucho para no levantar las arcillas asentadas.

b. Utilizando la pipeta de transferencia o un gotero, transfiera 10 a 15 mL del líquido de extracción, con un mínimo de arcillas, a la botella de filtración. Este extracto va a ser todavía turbio, pero la idea de utilizar una pipeta o gotero es minimizar su nivel de arcilla para no tapar demasiado el papel filtro. Consulte el video de instrucciones en la parte inicial de este método para más detalles sobre este método de filtración.

c. Poner un solo círculo (no doble) de papel filtro en la tapa con huecos de la botella de filtración.

d. Voltear la botella y prensarla con la mano o con una prensa de filtración que se puede hacer para tal propósito (Fig. 32).

e. Las gotas que salen del filtro deben ser claras y se pueden recolectar directamente en un vaso limpio (al contrario de las primeras gotas con el filtro de café). Si son turbias hay que cerciorarse de que no haya rajaduras en el filtro.

f. Siga recolectando gotas hasta tener entre 5 y 7 mL para los próximos pasos (7 mL indicado)

Figura 32. Una prensa para las botellas para filtración, que permite mantener alta presión sobre las botellas y utilizar un filtro de laboratorio o un filtro de café para sacar las arcillas del extracto. Ahorra tiempo porque al momento de prensar se puede continuar con otros pasos de la medición o con otras muestras.

6. Continúe filtrando gotas claras en la taza hasta que tenga 7 mL o un poco más. Si la filtración es muy difícil, puede reducir esta cantidad a 5 o 6 mL, y necesitará reducir la cantidad de bisulfito de sodio proporcionalmente en el paso de acidificación que sigue a continuación (ver la tabla).
7. Vaciar exactamente 7 ml de filtrado (o menos si el filtrado fue difícil) en la probeta.

mL de extracto de suelo filtrado	**Cantidad de solución de bisulfato de sodio para agregar ~~(mL)~~**	**Alternativa: Cantidad de ácido de batería diluido (3+1) para agregar ~~(mL)~~**
5	2,30 mL~~25~~	1,1 mL
6	2,75 mL	1,3 mL
7	3,25 mL~~10~~	1,5 mL

8. En una segunda copa plástica seca, medir 3,1 mL de solución de bisulfato de sodio utilizando el gotero graduado (un poco más de 3 mL ; ver la receta para esta solución 150g/L en la sección 3.5.3) para agregar a los 7 mL de extracto (si solo se lograron filtrar 5 o 6 mL, ver la tabla anterior para determinar la cantidad de solución). Si se trata de un suelo muy calcáreo, es posible que se necesite unas gotas más de solución

de bisulfato ya que el extracto tendrá un mayor potencial de neutralización (es decir, un pH ligeramente más alto debido al tipo de suelo).

9. **PARA SUSTITUIR CON ACIDO DE BATERÍA DILUIDO:** en vez de los 3,1 mL de bisulfato, utilice la cantidad expresada en la tabla anterior, por ejemplo 1,5 mL en caso de 7 mL de solución de suelo filtrado.
10. Añada a la taza los 7 mL de solución de extracción filtrada con la solución de bisulfato y deje que burbujee (Fig. 33). Estamos bajando el pH del extracto de aproximadamente pH 8,5 a pH 5 a 6, de modo que cuando se añadan los reactivos harán bajar el pH a aproximadamente pH 1 o 2, donde puede presentarse el color azul del método de ácido molibdato-ascórbico. Sin este pH bajo no se puede desarrollar el color azul.

Figura 33. Añadir 7 ml de filtrado a 3,25 mL de solución NaHSO4 para acidificar, anotar la efervescencia del extracto de suelo amarillo.

11. Mientras se dejan escapar los gases de la solución, para ganar tiempo se puede agregar el paquete de reactivos a un frasquito seco de 11 mL para el colorímetro, preparando así uno de los pasos siguientes (Paso 14, Fig. 35).
12. Reintroduzca el extracto de la copa a la probeta de 25 mL. Con la piseta enjuague el vaso con un poco de agua (<10 ml) y agréguelo formando un volumen de 20 ml +/- 0,2 mL en la probeta (Fig. 32). Esto le dará 10 ml para el frasco de reactivo en el colorímetro, y 10 ml como blanco o testigo para el colorímetro (el extracto sin reactivo será de color pajizo a café, por lo que queremos corregirlo a color café en el colorímetro).

Figura 34. La solución ahora ha sido acidificada y llevada a un volumen de 20 ml. Está lista para ser tratada con el reactivo de fosfato para desarrollar el color azul.

13. **Importante**: Mezcle bien la muestra antes de ponerla en el frasquito para realizar la reacción colorimétrica y la lectura del color. Para lograr una remoción y mezcla óptimas, se debe vaciar de ida y vuelta la probeta y la taza utilizadas para la acidificación.
14. Agregue el contenido del paquete de reactivos para fosfato a un frasquito limpio y seco (Fig. 35). Puede cortar el paquete rectamente en la parte superior, luego abrir la parte superior del paquete en forma de un cuadrado o diamante, y verter unas cuantas veces para asegurarse de que todo el reactivo entre en el frasquito.

Figura 35. Agregar el paquete de reactivo al frasquito limpio.

15. Añadir 10 ml de la solución al frasquito con los reactivos. Previamente, marque una línea de 10 ml o vierta hasta que el espacio entre el menisco y la tapa sea el mismo que el espesor de la tapa, que equivale al nivel de 10 mL.
16. Añadir la solución que queda en la probeta a un frasquito 'testigo' o blanco que se va a quedar sin reactivo. Para muestras del mismo tipo aproximado de suelo, se puede

usar la misma solución del testigo porque su color (café claro o cerveza) será bastante parecido. Cuando se producen grandes diferencias en materia orgánica, el frasquito del testigo será más oscuro para los suelos con más materia orgánica y se debe utilizar un frasquito testigo diferente para estos suelos diferentes.

17. Tapar y sacudir el frasquito con el reactivo. Es posible que tenga que desenroscar el frasquito una o dos veces para liberar las burbujas. Si al echar el reactivo, la solución suelta muchas burbujas, como en el paso de acidificación ya descrito, significa que no se utilizó suficiente bisulfato para acidificar, quizás por ser un suelo muy calcáreo, y se pueden echar unas gotas más (o hasta 0,2 mL, al ojo) de la solución de bisulfato antes de leer el resultado. Sin embargo, es normal que una cantidad pequeña de burbujas se liberen en este paso.

18. Debe desarrollarse un color azul en el vial del reactivo (Fig. 36). Lea el color azul unos 10 a 15 minutos después en el colorímetro alto rango de fosfato Hanna:

- Prender el colorímetro.
- Cuando aparece C1, poner el frasquito testigo (color trasparente o café claro) y presionar el botón.
- Cuando aparece C2, cambiar el frasquito testigo por el frasco de muestra (color azul) y presionar el botón.
- Grabar la lectura en ppm de fosfato. Acuérdese que esta lectura ***no es*** el resultado final porque hay que realizar los pasos de calibración y los cálculos finales descritos más adelante.

Figura 36. El color azul que se desarrolla en el extracto. El otro frasquito, con color amarillo, es el blanco o punto de comparación para el colorímetro.

19. Es posible que las primeras veces que se realiza la prueba, se desee repetir las lecturas después de 20, 25 y 30 minutos, para comprobar si continúa el desarrollo del color. El color azul debería llegar a su máximo después de 15 a 20 minutos, y no cambia mucho después de 15 minutos.

20. En muchos suelos, después de 30 minutos aproximadamente, el color azul se combina con materia orgánica (MOS) disuelta por la extracción Olsen y produce partículas azules. No se debe leer después de este punto porque el color azul comenzará a disminuir. En suelos muy altos en materia orgánica, este proceso de precipitación puede complicar la lectura incluso a partir de los 20 minutos, y hay que hacer una conjetura en cuanto al mejor momento de la lectura, y registrarlo en las observaciones.
21. En caso de que el nivel exceda el límite de calibración, es decir mayor de 20 ppm de lectura en el colorímetro, es aconsejable utilizar menos suelo en el análisis (ej. 1,5 g en vez de 2,5 g) para reducir el resultado final. Esto producirá un resultado del colorímetro más alineado con el rango de la calibración del protocolo. Si no se realiza esta repetición de la medición con ajuste, la tendencia será a *subestimar* la cantidad de fósforo en el suelo.
22. **Manejo de los desechos de la reacción**: La eliminación de los reactivos diluidos en un suelo infértil o en un compost probablemente no cause ningún efecto adverso o toxicidad, y el molibdeno puede incluso actuar como un nutriente para las plantas. Se puede, de igual manera, desechar en un sistema de saneamiento público. Los extractos leídos en el colorímetro (que son ácidos) pueden neutralizarse con un poco de ceniza de cocina.

3.5.5. Cálculo del fósforo extraíble Olsen en el suelo:

1. Primero se calcula la concentración bruta de fósforo en la solución final que se colocó en el colorímetro, mediante una curva de calibración previamente desarrollada:

$$\boldsymbol{Conc.\,Bruta\ de\ P} = \boldsymbol{P_{bruta}} = 0{,}0559 \times lectura\ del\ colorimetro - 0{,}0052$$

2. en caso de que se haya registrado algún valor del blanco que sería la lectura del colorímetro del agua que se utilizó o de una solución de bicarbonato para averiguar su contaminación con fósforo (ver sección 3.7.1 inciso 1 sobre agua "libre de fósforo"):

$$\boldsymbol{Conc.\,Bruta\ de\ P} = \boldsymbol{P_{bruta}} = 0{,}0559 \times (lectura\ del\ colorimetro - C_{blanco}) - 0{,}0052$$

3. Donde C_{blanco} es el valor del blanco registrado con el colorímetro al leer una muestra de agua limpia. En caso de que se haya utilizado bicarbonato comprado en un supermercado, es preferible asumir que existe cierto nivel de contaminación y utilizar un valor de C_{blanco} = 0,3).
4. Luego se calcula la concentración de P en el extracto original después de haber sacudido la solución Olsen con el suelo:

$$\boldsymbol{Conc.\,P\ en\ extracto} = [\boldsymbol{P_{extracto}}]$$

$$= \boldsymbol{P_{bruta}} \times \frac{\boldsymbol{20\ mL}}{\boldsymbol{mL\ de\ extracto\ utilizado\ para\ neutralizar}}\ (\boldsymbol{mg/L})$$

5. Donde el "mL de extracto utilizado para neutralizar" se refiere generalmente a 7 mL medido para neutralizar con bisulfato de sodio, y puede variar entre 5 y 7 (ver el paso 6descrito anteriormente).

6. [$P_{extracto}$] es la concentración del fósforo en el extracto, pero queremos la cantidad de fósforo en el extracto, la cual podemos calcular de esta manera:

$$\boldsymbol{Cantidad\ P\ en\ extracto\ (mg)} = \boldsymbol{P_{extraido}}(mg/L) = [\boldsymbol{P_{extracto}}] \times 0{,}025\ L$$

Recordando que hay 25 mL de extracto creado en el primer paso, que equivale a 0,025L.

7. Finalmente, para calcular la cantidad de fósforo disponible en el suelo dividimos esta cantidad en mg por el peso inicial del suelo en kg:

$$\boldsymbol{P_{disponible}\ en\ suelo\ (mg/kg)} = \frac{\boldsymbol{P_{extraido}}}{\boldsymbol{peso\ de\ suelo\ inicial\ (kg)}}$$

8. Tome en cuenta que el peso en gramos del suelo hay que dividirlo entre mil para encontrar su peso en kg: por ejemplo 0,0025 kg para 2,50 g o 0,00243 kg si usamos 2,43 gramos de tierra seca.

9. En caso de que utilicemos suelo húmedo hay que ajustar los resultados para la humedad del suelo, que sería dividir el resultado de arriba entre [1 – contenido de agua en la muestra].

Ejemplo para calcular los resultados:

10. Se pesan inicialmente 2,63 g de suelo. Luego se filtran 7 mL de extracto para la neutralización, y al analizar el color con el colorímetro se lee una intensidad de 14,5 unidades. Se ha utilizado agua destilada y un reactivo de bicarbonato que no tiene ningún contenido detectable de fósforo. Entonces el nivel de P disponible se calcula así:

    a. **P_{bruta}** = 0,0559 x 14,5 – 0,0052 (ningún corrección para un valor blanco)=

0,8503 mg/L

    b. Entonces, **[$P_{extracto}$]** = 0,8503 x (20/7) = **2,429 mg/L**

    c. Y la cantidad extraída será: 2,249 mg/L x 0,025 L = **0.06074 mg**

    d. Entonces el nivel de P disponible en suelo sería:

    $P_{disponible}$ = 0.06074 mg / 0,00263 kg = **23,1 mg/kg**

    e. Esto corresponde a un nivel alto de P disponible según la tabla de calificación de los resultados que se muestra a continuación. Tenga en cuenta que en realidad este resultado es "P extraíble" según un método determinado (el método Olsen). Es una estimación del P disponible que nos permite comparar diferentes suelos y clasificar su fertilidad de fósforo, pero no es una definición absoluta de P disponible para los cultivos, que depende de muchos otros factores.

Tabla de calificación para la prueba de P disponible con método Olsen:

Valores de P disponible Olsen (mg/kg)	Calificación	Descripción
0 a 5	**Muy bajo**	Biomasa, vigor y floración de muchos cultivos se van a limitar seriamente. Los síntomas de deficiencia pueden aparecer, especialmente si el fósforo es el único nutriente limitante. Si el fósforo y otros nutrientes también son escasos, puede aparecer como una falta general de vigor y biomasa.
5 a 10	**Bajo**	Los cultivos están limitados por la escasez de fósforo, sin embargo si se aplican insumos de fertilidad (estiércol, fertilizante de fósforo, etc.) pueden responder muy positivamente porque existe un nivel mínimo disponible.
10 a 20	**Mediano**	Muchos cultivos seguirán respondiendo a insumos adicionales de estiércol, compost o fertilizante de P, especialmente las leguminosas y las hortalizas que producen mediante la floración y la fructificación (ej. Brócoli, tomate, calabaza). Algunos cereales eficientes en P (ej. cebada, trigo) ya pueden alcanzar la suficiencia.
Por encima de 20	**Alto**	La mayoría de los cultivos no estarán limitados por la fertilidad de fósforo. Sin embargo, algunas hortalizas y también las malezas pueden continuar aumentando su producción a niveles aún más altos, por ejemplo hasta 30 a 50 mg/kg. Los valores superiores a 50 indican ineficiencia, asignación excesiva de fósforo a estos campos y contaminación de nutrientes de los suelos y, potencialmente, de cuencas hidrográficas.

3.6. Evaluación de la Macrofauna del Suelo

La evaluación de las comunidades de invertebrados del suelo ofrece una opción simple y de baja tecnología para el estudio de la biología del suelo. Este método ofrece una serie de ventajas claves. La macrofauna del suelo es sensible a los cambios en su entorno y los cambios en la estructura de su comunidad ofrecen una evaluación integradora (es decir, la combinación de cambios en múltiples propiedades del suelo en una sola medida) de los impactos del ecosistema a lo largo del tiempo. Además, la macrofauna del suelo, en particular los ingenieros de los ecosistemas (por ejemplo, hormigas, lombrices), puede tener importantes influencias en el funcionamiento del suelo y del ecosistema y, por lo tanto, sus poblaciones reflejan procesos ecológicos clave. Finalmente, los grandes invertebrados del suelo son relativamente simples de medir, ubicuos y familiares para los administradores de la tierra, ya que se encuentran con frecuencia durante las actividades de manejo del suelo.

Este procedimiento lleva más tiempo que algunas otras evaluaciones y es bueno hacerlo en equipo para compartir con el grupo el trabajo los aprendizajes sobre la vida del suelo. Se necesita tener un suelo en época productiva y con humedad (temporada de lluvia o de cultivos). Aunque este método aparece en la parte final de esta guía, puede constituir un buen punto de partida para observar y aprender sobre un suelo, primero porque se observa la vida en él y su manejo, lo que puede dar una sensación general de calidad junto a las otras pruebas. En segundo lugar, este procedimiento generará una muestra de suelo bien "limpia" para utilizarse en pruebas químicas como pH, carbón activo y fósforo disponible, si hay interés en combinar análisis de salud del suelo de una misma parcela. Sin embargo, cabe notar que NO deberíamos utilizar la muestra generada en este procedimiento para medir la estabilidad de agregados (sección 3.3), porque en este método de macrofauna destruimos a propósito los agregados del suelo para buscar la macrofauna, lo que invalida los resultados del método de agregados estables.

3.6.1. Materiales:

1. **Pala** con punta cuadrada para excavar.
2. **Regla**, al menos de 20 cm de largo, para medir las dimensiones del agujero. En ocasiones, dos reglas de 20 cm se pueden pegar con cinta adhesiva para formar un ángulo recto, lo que facilita la medición del orificio con precisión.
3. **Cuchillo o machete** para recortar los bordes del hoyo cavado.
4. **Costales** (sacos grandes y fuertes de plástico) para reunir el suelo antes de buscar la fauna.
5. **Bandejas** para la búsqueda con la mano de macrofauna en el suelo.
6. **Frasquitos, tubos, o botellas** para almacenar muestras de la macrofauna (si se quiere realizar una clasificación detallada).
7. **Pinzas** para levantar y manipular ciertos tipos de macrofauna y colocarla en los frasquitos o botellas.
8. **Alcohol** para conservar la macrofauna, y posiblemente formaldehido, pero este último solo como parte del trabajo de gabinete para evitar llevar esta sustancia tóxica al campo.

3.6.2. Procedimiento:

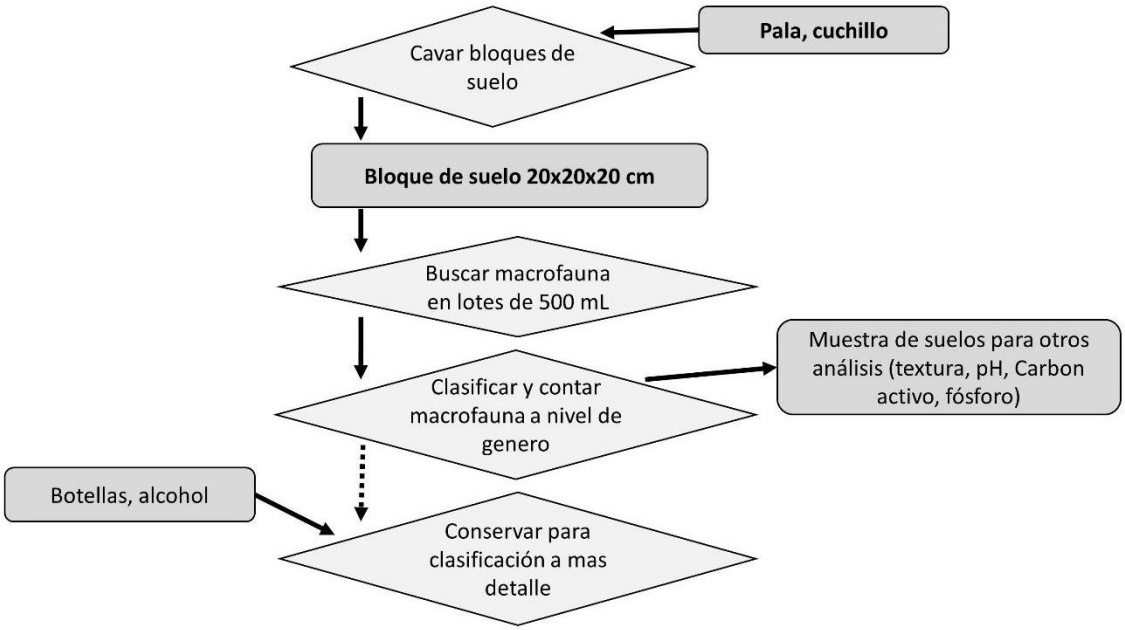


Fig. 37. Diagrama de flujo para el procedimiento de macrofauna.

1. Usando una regla o un pequeño cuadrado, marque un área cuadrada de 25 x 25 cm usando banderas o marcador similar. Trate de evitar pisar muy fuerte sobre el suelo, ya que alguna macrofauna (especialmente grandes lombrices anécicas, con profundos túneles verticales) puede escapar con bastante rapidez. En general, la macrofauna es heterogénea en su distribución espacial, por lo que es bueno recolectar al menos 3 muestras por parcela de tratamiento que se está evaluando.
2. Usando una pala o pala de borde plano, excave la tierra rápidamente en una gran bolsa de plástico tejida a una profundidad de 25 cm (Fig. 38). Asegúrese desde el principio que las paredes del pozo están en posición vertical y excave el foso con la menor cantidad posible de palas para evitar dañar la macrofauna. Es posible reducir ligeramente el volumen de la muestra con fines de demostración o cuando el trabajo o el tiempo son escasos (por ejemplo, 20 x 20 cm, por 20 cm de profundidad), pero es importante reconocer que esto introduce un error mayor y puede dañar una mayor proporción de macrofauna (y puede dificultar el recuento de los siguientes pasos).

Figura 38a. Excavando un hoyo pequeño a 20 cm de profundidad para muestrear un volumen de suelo para la macrofauna.	**Figura 38b. T**ransfiriendo rápidamente el suelo excavado a un saco grande para evitar el escape de la macrofauna móvil.

3. **Clasificación manual de la macrofauna**: busque un lugar cómodo para trabajar con luz adecuada y con protección contra el sol, la lluvia y el viento. Coloque puñados de aproximadamente 500 ml de suelo en bandejas para recolectar la macrofauna. Utilice pinzas para seleccionar con cuidado cualquier "bichito" que tenga un tamaño> 2 mm (en la práctica, se incluirá todo lo que sea fácilmente visible, como lombrices, hormigas, termitas, escarabajos, arañas y larvas de insectos). Llene dos frasquitos (con volumen~ 120 ml) a 25% de capacidad con etanol al 70% y etiquételos según la muestra que se está recogiendo. Coloque organismos de cuerpo blando (estos son organismos sin un exoesqueleto, generalmente limitados a lombrices, babosas y capullos de lombriz de tierra) en uno de los frasquitos. Todo lo demás entrará en el otro frasquito (este segundo grupo son artrópodos y tienen patas). Si hay muchas hormigas pequeñas o termitas (más comunes en suelos tropicales cálidos), puede ser útil utilizar un pequeño pincel mojado en etanol para recolectar la macrofauna que se mueve rápidamente (ya que generalmente se adhieren al cepillo cuando está mojado). Un equipo de 3-4 personas, que maneje cada bolsa de muestra, debería ser capaz de terminar de clasificar una muestra en 20 a 40 minutos, dependiendo de la cantidad de organismos encontrados. Uno de los desafíos es no subestimar (es decir, volverse apresurado o descuidado) a medida que uno se cansa de recolectar la macrofauna.

Figura 39: Búsqueda manual de la macrofauna en una bandeja. Nótese los frascos para recolectar la macrofauna, a la derecha, para la identificación precisa y el archivo de las muestras.

Figura 40. Artrópodos recolectados en alcohol, de un sitio de barrera viva con abundancia alta en macrofauna.

4. Al volver a la oficina o laboratorio, la macrofauna se puede clasificar y contar. En general, la clasificación al nivel u orden (es decir, escarabajos, hormigas, arañas, etc.) es suficiente para entender la composición funcional de las comunidades de la macrofauna del suelo, pero una identificación adicional es útil para comprender mejor los impactos en la diversidad, dependiendo del interés y la experiencia. La clasificación al nivel u orden a menudo se puede hacer a simple vista, pero es útil tener un microscopio de disección o una buena lente de mano para algunos especímenes. Además, para el almacenamiento a largo plazo (> 2 semanas) es importante eliminar el etanol viejo y reemplazarlo con etanol limpio al 70% para los artrópodos. Los organismos de cuerpo blando se pueden almacenar en formalina si se desea la preservación a largo plazo. Las lombrices pueden ser difíciles de identificar si se almacenan en etanol por más de unas semanas. Reemplazar el etanol sucio con etanol limpio y almacenar muestras en el refrigerador puede extender sustancialmente este tiempo, pero se deben usar viales herméticos para evitar posibles riesgos de incendio.
5. Luego se puede clasificar, por ejemplo, los escarabajos (coleópteros) dentro de los insectos frente a las lombrices (oligochaeta). Dentro de las lombrices, quizás también observando diferencias funcionales tales como tipos de lombrices o la relación de los artrópodos con la descomposición de los residuos, depredación, hábitos herbívoros, etc. Esto a veces puede revelar diferencias relacionadas con los insumos recientes de nutrientes o residuos de cultivos.

6. Se debe advertir que los datos de la macrofauna a menudo pueden ser bastante "ruidosos" y las conclusiones no suelen ser absolutas o claras. Por esta razón,

generalmente los análisis se realizan mejor a nivel de órdenes y / o con los grupos taxonómicos más abundantes (frecuentemente, lombrices, hormigas y escarabajos). Los resultados se calculan, por lo general, en base a individuos por metro cuadrado (por lo que es necesario multiplicar los números por 16 si se usa un hoyo de 25 x 25 cm). Sin embargo, la macrofauna tiende a responder positivamente en general a las adiciones de materia orgánica. Los mismos agricultores locales pueden aportar sus conocimientos a estas observaciones sobre el origen de la macrofauna, para crear un diálogo. Una lección importante para los agricultores, que no se debe soslayar, es que hay un gran número de macrofauna benéfica o neutra en comparación con las plagas.

7. Un excelente manual de campo para capturar la mayoría de las órdenes de macrofauna del suelo está disponible en los recursos preparados por el IRD / FAO: véase el anexo del manual de campo en estos recursos, reproducidos en el apéndice A de este manual (consulte también en: www.fao.org/docrep/pdf/011/i0211e/i0211e.pdf

3.6.3. Cálculos y registro de datos:

Después de clasificarlos en órdenes o géneros, que pueden incluir morfotipos comunes en un sitio con una foto para ayudar a registrarlos, las cantidades de organismos pueden expresarse como un número por metro cúbico. Tenga en cuenta que, si se excavó un bloque de 20x20x20 cm, se debe multiplicar todos los recuentos por 25 = 5 x 5, ya que cada lado del bloque tiene una longitud de ⅕ metro. Es decir, **Abundancia de una especie o morfotipo por metro cuadrado = número contado x 25.** Si el hoyo cavado solo fue de 25 x 25 cm, hay que multiplicar cada recuento por 20. **Otras pruebas relacionadas:** ver el conteo de lombrices en la guía de evaluación visual de suelos de la FAO de J. Benites. (Consultar bibliografía en el siguiente capítulo del Manual.)

3.7. Infiltración de agua (bajo prueba)

Este método es el más simple de los métodos utilizados por el servicio de conservación del USDA de los Estados Unidos. Su ventaja es que es muy simple y puede dar una comparación relativa entre los campos (de textura similar del suelo), e indicar la presencia de compactación o formación de costras en el suelo. Es necesario entender los resultados para tener una idea o medida exacta de la humedad del suelo, ya que la infiltración "inicial" o instantánea medida en esta prueba depende de la humedad y no solo de factores como la agregación o la compactación.

Esta medición proporciona una indicación de cómo se comportará el suelo al infiltrar agua durante la parte inicial de un evento de lluvia. También ignora los efectos destructivos de las grandes gotas sobre la estructura del suelo y la formación de costras (la prueba de estabilidad agregada descrita anteriormente en este manual es mejor para comprender ese aspecto). Debido a que es una tasa inicial, no es equivalente a medidas de infiltración "clásicas" como la conductividad saturada o K_{sat}. Actualmente, estamos trabajando para mejorar esta prueba para que pueda medir el comportamiento de infiltración no sólo inicial sino más saturado o a largo plazo, durante un período de lluvia más prolongado, por ejemplo.

Otras pruebas relacionadas: Ver en la bibliografía las evaluaciones “encharcamiento de agua en el suelo”, “identificación de un pie de arado”, y “encostramiento superficial del suelo” en la guía de evaluación visual de suelos de la FAO de Shepherd, Benites et al..

3.7.1. Materiales

1. Anillo de metal de 10 a 15 cm de diámetro y 10 a 20 cm de altura (una lata grande, o hecho en un taller de hojalatería de una hoja de metal)
2. Regla
3. Cronómetro o App de cronómetro en un celular inteligente
4. Contenedor de 500 ml con una marca en el nivel de 450 mL (el volumen requerido)
5. Hoja de plástico flexible por lo menos de 40 x 40 cm
6. Martillo o combo pequeño (martillo mediano), o una piedra mediana
7. Tabla para distribuir la fuerza del martillo al introducir el anillo en el suelo
8. Cuchillo con filo (a veces es necesario)

3.7.2. Procedimiento

1. Limpiar un área de 50 cm x 50 cm de hojarasca y cortar todas las plantas a ras del suelo (puede quedar 1 cm de tallo, para no alterar demasiado la superficie al cortar).
2. Inserte el anillo de metal aproximadamente 3 cm en el suelo, utilizando la tabla encima del anillo y martillando al anillo. Si hay raíces que obstruyen que el anillo entre en el suelo, se puede ajustar con un cuchillo filoso (con cuidado para no romper demasiado la estructura).
3. Utilice los dedos para presionar suavemente y llenar el suelo alrededor de los bordes exteriores del anillo para evitar la filtración excesiva en los bordes.

4. Ponga el plástico suelto dentro del anillo sobre la tierra y luego vierta 450 ml (1 pulgada de profundidad) de agua sobre el plástico.
5. Tire suavemente el plástico del anillo y anote el tiempo necesario para que el agua se infiltre en el suelo, es decir, hasta que la superficie solo esté brillando sin agua estancada. Aproximadamente se van a medir tiempos entre 30 segundos y 10 minutos para esta prueba.
6. Para entender los datos es muy importante tomar en cuenta la humedad del suelo al momento de la prueba. Sin embargo, si dos campos tienen aproximadamente la misma humedad y textura, se pueden comparar los datos.
7. Es bueno replicar la medición en 2 o 3 partes de la parcela y tomar un promedio de los resultados.

BIBLIOGRAFÍA

Cock, J.H., Álvarez, D.M., Estrada, M. 2010. **RASTA Rapid Soil and Terrain Assessment: Guía práctica para la caracterización del suelo y del terreno**. Versión 2. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Corporación BIOTEC.

Corina D., Laura, S, Paredes, R. 2017. "**Maletín de Herramientas para analizar suelos y buenas prácticas agroecológicas**". 2da Edición La Paz - Bolivia: PROSUCO

Moebius-Clune, B.N., Moebius-Clune, D.J. , Gugino, B.K. , Idowu, O.J., Schindelbeck, R.R., Ristow, A.J., van Es, H.M., Thies, J.E., Shayler, H.A., McBride, M.B., Kurtz, K.S.M, Wolfe, D.W. and Abawi, G.S. 2016. **Comprehensive Assessment of Soil Health – The Cornell Framework, Edition 3.2**, Cornell University, Geneva, NY. (*Español*: Evaluación integrada de la salud del suelo: el marco de la Universidad de Cornell y servicio de extensión) Disponible en: https://soilhealth.cals.cornell.edu/training-manual/ y también: www.bit.ly/SoilHealthTrainingManual

Musumba, M., Grabowski, P., Palm, C., and S. Snapp. 2017. **Sustainable Intensification Assessment Methods Manual** (*Español*: Manual de Métodos de Evaluación para Intensificación Sostenible). Disponible en: http://www.k-state.edu/siil/documents/docs_siframework/Sustainable%20Intensification%20Assessment%20Methods%20Manual%20-%2010.24.17c.pdf

Shepherd, T.G., Stagnari, F., Pisante, M., y J. Benites. **1993. Guía de Campo para la Evaluación Visual de Suelo – Cultivos Anuales**. Versión adaptada por José Benites disponible en www.suelosandinos.org, sección de metodologías y recursos técnicos.

APÉNDICES

APÉNDICE A: GUÍA VISUAL Y TÁCTIL PARA ESTIMAR LA HUMEDAD DEL SUELO:

Aquí se presentan estimaciones para la humedad del suelo en función de cómo se ven y se sienten unos suelos típicos. Estas estimaciones se pueden usar para ajustar las mediciones del contenido de nutrientes o de carbono a lo que habría sido la medición en suelos secados al aire, que es la mejor forma de estandarizar estas mediciones. El ajuste al suelo seco al aire se puede calcular multiplicando por el factor [1 / (1-% de humedad)]. Por ejemplo, si se estima un contenido de humedad del 9%, los resultados químicos que usan esta humedad del suelo se multiplicarán por [1 / (1-0.09)] = 1 / 0.91 = 1.10, que usa los factores en la tabla a continuación. Si se van a evaluar muchas muestras en una sola región, probablemente sea mejor crear una guía local al asociar el aspecto y la sensación de los suelos locales con su contenido de humedad real.

Tabla 1. Contenido de humedad de diferentes suelos texturizados en diferentes etapas visuales y táctiles, de I a V. Una descripción de las etapas se encuentra en los párrafos a continuación y el resultado o el estimado de contenido de humedad se presenta en la tabla.

	I. Muy húmedo	II. Húmedo	III. Mayoría de las migas húmedas	IV. Mayoría de las migas secas	V. secado al aire	VI. Muy seco (muchos días de secado o secado en un horno secador (~45 C)
Arena francosa o arena	9%	7%	5%	3%	2%	1%
Franco arenoso	13%	10%	8%	5%	3%	2%
Franco arcilloso arenoso, franco, franco limoso, limo	18%	14%	10%	6%	3%	2%
Arcilla arenoso, franco arcilloso, franco arcilloso limoso, arcilla limosa, arcilla	23%	18%	14%	7%	4%	2%
Suelos altos en materia orgánica (ej. >5% MOS, consultar abajo: adición para suelos de alta materia orgánica)	+3%	+2%	+2%	+2%	+1%	+1%

Niveles de humedad con imágenes guías:

I. **Muy húmedo**. El suelo está lo suficientemente húmedo como para que, cuando se manipula, se formen grumos que son más grandes (5-15 mm) que los agregados del tamaño normal de la miga del tamizado, y es muy difícil de tamizar a 2 mm sin obstruir la malla. Con solo un poco más de agua comenzaríamos a ver tierra reluciente (agua libre no contenida en los

agregados); cuando se le presiona con los dedos y el pulgar, el suelo casi forma un terrón manchado, pero aún muestra cierta estructura de grano de las migas individuales.

II. **Húmedo**. Los grumos más grandes (5-15 mm) ya no se forman a partir del suelo que se está manipulando, pero todas las migajas aún están visiblemente húmedas. El tamizado sigue siendo difícil por la humedad, pero factible. Cuando se presiona con los dedos y el pulgar, la tierra se mantiene unida, pero no se mancha, y la masa formada se rompe con relativa facilidad. En el suelo más arenoso, la masa presionada con los dedos y el pulgar ya no se mantiene unida.

III. **La mayoría de las migas están húmedas**. La arena arcillosa ya no se adhiere cuando se le presiona, mientras que la tierra arcillosa y la tierra de alta materia orgánica todavía se adhieren un poco, aproximadamente la mitad se pega. Tamizar el suelo es ahora relativamente fácil.

IV. **La mayoría de las migas están secas**: Los agregados todavía están húmedos por dentro. Cuando se presionan juntos, no hay adhesión entre las migas tamizadas. Tamizar ahora es muy fácil sin que el tamiz se tranque.

V. **Secado al aire:** las muestras se han secado hasta que aparecen completamente secas, aunque no han pasado muchos días o semanas y el suelo no se ha secado a temperaturas más altas. Puede haber humedad remanente dentro de las arcillas.

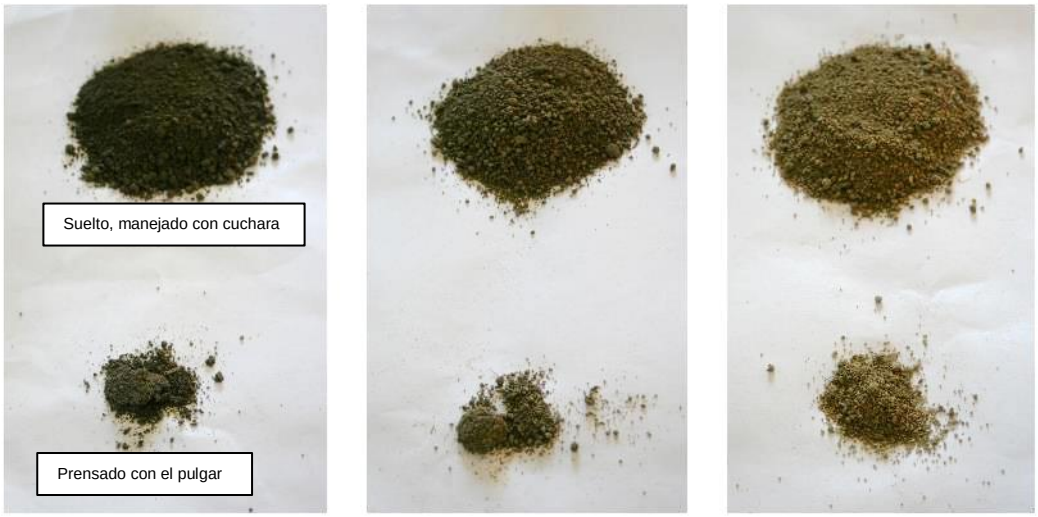
VI. **Secado al aire, muchos días o secado con calor:** el suelo ha estado en condiciones secas durante muchos días o meses, o se ha calentado para secarse, a una temperatura de 40 a 45 grados C por ejemplo. Por lo general, no se realiza ningún ajuste para la humedad.

Adición para suelos de alta materia orgánica: para suelos que son visiblemente muy altos en materia orgánica, con un color oscuro notable o materia orgánica superior al 5%, las cantidades dadas en la tabla deben aumentarse en unos pocos puntos porcentuales, como se muestra en la última línea de la tabla.

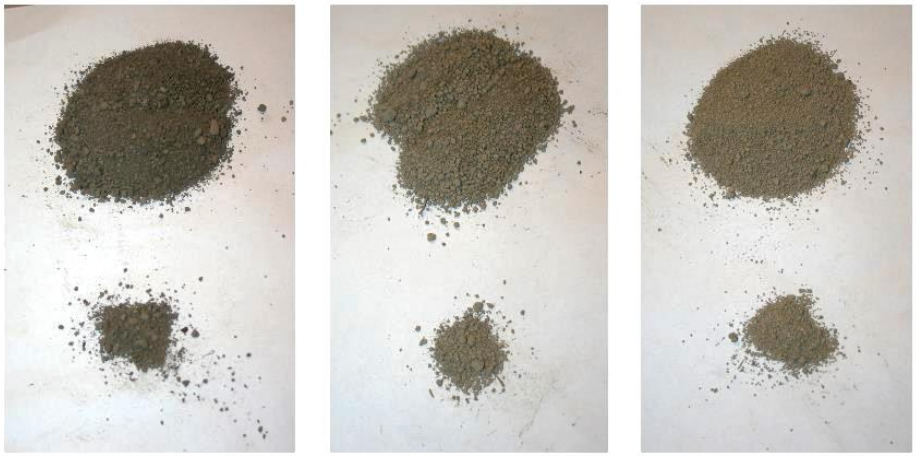
Imágenes de las diferentes etapas de humedad (las columnas representan diferentes tipos texturales y la cantidad de materia orgánica).

Franco arcilloso limoso con alto contenido de materia orgánica	Franco arcilloso limoso	Arena
I. Muy húmedo		
II. Húmedo		

III. La mayoría de las migas están húmedas



IV. La mayoría de las migas están secas



V. Secado al aire (si se seca más, no cambia la apariencia):

1. **APÉNDICE B: CLAVE SIMPLIFICADA DE MACROFAUNA,** adaptado del manual FAO/IRD de campo para macrofauna, consulte el enlace www.fao.org/docrep/pdf/011/i0211e/i0211e.pdf

Identificación de la mayoría de macrofauna hasta el nivel de orden:

SIN PATAS:

1. **SIN PATAS, NO SEGMENTADO**, cabeza trasluciente con tentáculos, **MOLLUSCA**
   a) Con concha: **Caracoles** (Fig. 1)
   b) sin concha: **Babosas** (Fig. 2)

Fig. 1. Caracoles

Fig. 2. Babosas

2. **SIN PATAS, SEGMENTADO**
   a) *Forma de lombriz*,
   - ➢ Más de 15 segmentos del cuerpo, pigmentado:
     Lombrices (la mayoría más de 20 mm de largo) – (Fig. 3)
   - ➢ Ventosas en ambos extremos de un cuerpo aplanado:
     Hirudínea (sanguijuelas) (Fig. 4)

Fig.3: Lombriz

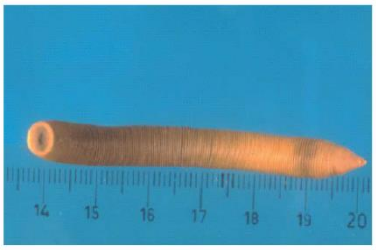


Fig.4: Hirudinea (sanguijuelas)

   b) *no parecido a un lombriz*, menos de 15 segmentos:
   - ➢ Larvas de escarabajos (**Coleóptera**), con cápsula de cabeza bien desarrollada (estructura coronal en la cabeza), frecuentemente en forma de U, cuerpo hinchado (Fig. 5).
   - ➢ Larvas de **Díptera**, frecuentemente sin una cápsula de cabeza bien desarrollada. Largas y angostas, sin forma de U (Fig. 6).

Fig.5: Larvas de escarabajos

Fig.6: Larvas de **Díptera** (larvas de algunas moscas)

POSEEN PATAS

1. **SIN ALAS:**

3 Pares de patas: insectos.

A. Parecido a orugas: cuerpos blandos
   - ➢ Pseudo-patas (4 pares, o menos); son adicionales a los tres pares de patas reales:
     Larvas de **Lepidóptera** (larvas de mariposas y polillas) (Fig. 7)
   - ➢ Sin pseudo-patas:
     Larvas de **Coleóptera** (escarabajos; frecuentemente larvas en forma de U) - (Fig. 8)

Fig.7: Larva de Lepidóptera (mariposas y polillas) Fig.8: Larvas de escarabajo

B. Abdomen con más de 6 segmentos, antenas con más de 4 segmentos
   - ➢ Pronotum conspicuo (la placa dorsal superior del primer segmento del tórax):
     i. Pronotum en forma de silla de montar, sin proyectarse hacia delante: **Orthoptera** (saltamontes) (Fig. 9)

i. Pronotum no en forma de silla de montar, proyectándose hacia adelante sobre la cabeza:

Blattaria (cucarachas) (Fig. 10)

Fig.9: Orthoptera

Fig.10: Blattaria

➢ Pronotum no conspicuo (la placa dorsal superior del primer segmento del tórax):

i. Partes bucales formadas en tubo de succión sujeto debajo del cuerpo, sin palpos: **Hemíptera** (tales como bichos de encaje (tingidae), áfidos y piojos de madera (Fig. 11)

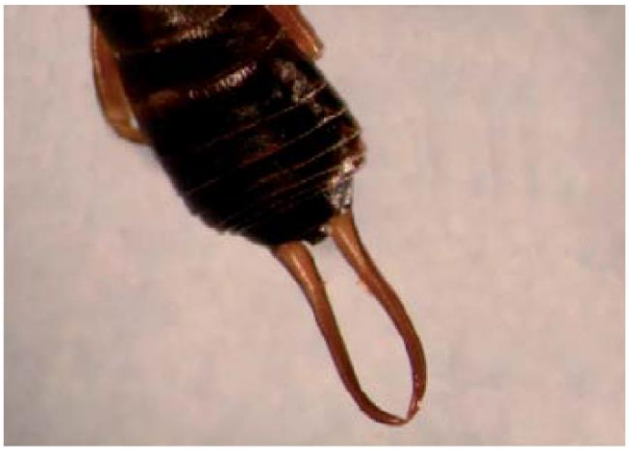
Fig.11: Hemíptera

ii. Sin tubo de alimentación y sin palpos; el abdomen termina en un número determinado de *cerci* (apéndices pareados en los segmentos traseros de algunos artrópodos).

Estos cerci son:

a) 2 cerci

- ❖ Curvado en pinzas: **Dermaptera** (tijeretas) (Fig.12)
- ❖ Larga y delgada, por lo menos 1/3 de la longitud del abdomen, que sobresale de la punta, Antena corta –menos que 2 x ancho de la cabeza: **Larvas de coleópteros** (Fig. 13)



Dermáptera (tijeretas) (Fig.12)

- ❖ pueden ser cortos, a veces ubicados delante de la punta del abdomen:
  - o Antenas largas, con 8 segmentos:
    Isóptera (cambiado a Blattaria, recientemente**)**- ciegos, con poca pigmentación, a veces con mandíbulas grandes (soldados), con patas plenamente desarrolladas, presentes en áreas tropicales y subtropicales. (Fig. 14)

Fig.13: Larvas de coleóptera

Fig.14: Isóptera (Blattaria)

  - o Antenas cortas, <6 segmentos:
    Larvas de escarabajo, antenas planas y cortas (<8 segmentos) (Fig. 15)

Fig.15: Cerci de algunas larvas de coleóptera (escarabajos)

a. Sin cerci; con un número determinado de segmentos de las antenas
b. Menos de 6 segmentos en las antenas, con 3 segmentos claramente definidos del tórax: **Larvas de escarabajos** (Fig. 16)

Fig.16: Tórax de coleóptera (tres segmentos bien definidos detrás de la cabeza)

c. Más de 10 segmentos de las antenas, ***con*** cintura tipo avispa (muy delgada),
   - ❖ con 1 a 2 pecíolos: **Hormigas** (Fig. 17)
   - ❖ Sin pecíolo: otros **Himenóptera** (abejas y avispas)

c. Más de 10 segmentos de las antenas, ***sin*** cintura tipo avispa (muy delgada),
   - ❖ Larga y delgada: **Phasmida** (insectos palo) (Fig. 18)
   - ❖ Con antenas largas, pequeños: **Psocóptera** (piojos de la corteza) (Fig. 19)
   - ❖ Con antenas cortas: larvas de escarabajo o adultos sin alas (Fig.20)

Fig.17: Hormigas. A la derecha, uno o dos peciolos conectan el tórax con el abdomen

Fig.18: Fásmidos

Fig.19: Psocóptera

Fig.20: Larvas o adultos sin alas de escarabajos

4 pares de patas: **Arácnida**

Nota: los pedipalpos, que son el segundo par de apéndices de la cabeza y la sección del tórax, pueden parecer un par de patas extras

A. Tórax y abdomen separados por una cintura estrecha, pedipalpos sin garras: **Arañas** (Fig. 21)
B. Tórax y abdomen fusionados en uno, sin pedipalpos- Cuerpo claramente segmentado, con ocularium (tubérculo del área del ojo): **Opiliones** (muy parecidos a las arañas) (Fig. 22)
C. Cuerpo no segmentado, sin ocularium: **Acarina** (ácaros y garrapatas) (Fig. 23)

Fig.21: Arañas

Fig.22: Opiliones

Fig.23: Acarina (ácaros y garrapatas)

D. Pedipalpos con garras o pinzas

➢ Garras grandes, telson (picadura): Escorpiones (Fig. 24)

➢ Pequeñas garras, sin telson (picadura): Seudoescorpiones (Fig. 25)

Fig.24: Escorpiones

Fig.25: Seudoescorpiones

6 o 7 pares de patas: Isópoda (Fig. 26)

Fig.26: Isópoda

Más de 15 pares de patas:

A. Una pata por segmento: **Chilopoda** (ciempiés, generalmente aplanado) (Fig. 27)

Fig.27: Chilopoda

B. Dos patas por segmento: **Diplopoda** (milpiés), generalmente con forma más cilíndrica del cuerpo, usualmente >30 pares de patas (Fig. 28).

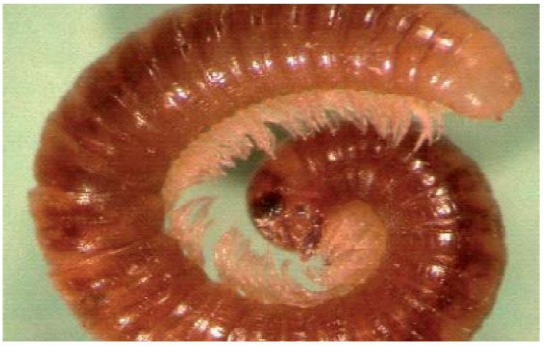


Fig.28: Diplopoda

2. CON ALAS

A. Solo 2 alas; no hay apéndices: Díptera adulta (moscas)

Con halteres: pequeñas estructuras emparejadas como nudos debajo de las alas (Fig. 29).

Fig.29: Díptera

B. 4 alas

- ➢ Partes de la boca modificadas en tubo de succión, sin palpos: **Hemíptera** (Fig. 30)

Fig.30: Hemíptera

- ➢ Partes bucales mordedoras, palpos
  - ❖ Alas de adelante endurecidas para formar un estucho de alas;
    - o Patas traseras largas
      - i. Patas posteriores modificadas para saltar, cabeza no parcialmente cubierta por pronotum: **Ortóptera** (Fig. 31)
      - ii. Patas traseras no modificadas para saltar, cabeza que cubre parcialmente pronotum: **Blattaria** (Fig. 32)

Fig.31 Ortóptera

Fig.32: Blattaria

- Piernas traseras cortas:
  i. Abdomen con pinzas terminales: **Dermáptera** (Fig. 33)
  ii. Sin pinzas terminales: **Coleóptera** (escarabajos) (Fig. 34)

Fig.33: Dermáptera

Fig.34: Coleóptera

- ❖ Alas delanteras no endurecidas; piernas traseras modificadas para saltar; pronotum en forma de silla de montar: Ortóptera (Fig. 31)

➢ Otros grupos con alas raramente se encuentran en muestras de suelos, sin embargo un ejemplo se muestra a continuación (**Lepidóptera**: mariposas y polillas adultas; o **Himenóptera**: abejas y avispas; etc.) (Fig. 35).

Fig.35: Himenóptera (no encontrada con frecuencia en suelos)