



Antonio Jordán
Gael Bárcenas
Lorena M. Zavala

Métodos de Análisis de Suelos

Módulo de Edafología
Edafología y Climatología Agrícola
ETSIA, Universidad de Sevilla

Sevilla, 2023

Imagen de portada: Accumulation of salt on the soil surface. Antonio Jordán / Imaggio.
<https://imaggio.egu.eu/view/13480>.

Imagen de contraportada: Little herb on platy structure. Antonio Jordán / Imaggio.
<https://imaggio.egu.eu/view/17123>.



Usted es libre de:

- Compartir -copiar y redistribuir- el material en cualquier medio o formato.
- Adaptar -remezclar, transformar y crear- a partir del material.

para cualquier finalidad, incluso comercial.

Esta licencia está aceptada para Obras Culturales Libres. El licenciador no puede revocar estas libertades mientras cumpla con los términos de la licencia.

Bajo las condiciones siguientes:

- Reconocimiento. Debe reconocer adecuadamente la autoría, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de una manera que sugiera que tiene el apoyo del licenciador o lo recibe por el uso que hace.
- CompartirIgual. Si remezcla, transforma o crea a partir del material, deberá difundir sus contribuciones bajo la misma licencia que el original.

No hay restricciones adicionales. No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que legalmente restrinjan realizar aquello que la licencia permite.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para aquellos elementos del material en el dominio público o cuando su utilización esté permitida por la aplicación de una excepción o un límite.

No se dan garantías. La licencia puede no ofrecer todos los permisos necesarios para la utilización prevista. Por ejemplo, otros derechos como los de publicidad, privacidad, o los derechos morales pueden limitar el uso del material.

Contenidos

Contenidos	3
1 Prevención en el laboratorio	5
2 Lugar y calendario de prácticas.....	9
3 Descripción morfológica de una muestra de suelo no perturbada	11
4 Acidez del suelo	19
5 Salinidad del suelo	23
6 Textura del suelo.....	27
7 Contenido en carbonatos del suelo	31
8 Materia orgánica del suelo	33
Referencias	37

1 Prevención en el laboratorio

1.1 Hábitos personales seguros

- No comas ni bebas.
- No fumes.
- No uses inhaladores.
- Lávate siempre las manos al salir.
- Nunca utilices lentillas.
- Usa siempre la bata de laboratorio, de algodón 100%, con mangas que se ajusten a las muñecas.
- Lleva el pelo recogido. En su caso, la barba también.
- Los anillos, collares, colgantes, pendientes, pulseras, pírsines y perforaciones pueden producir accidentes por reacción con sustancias o por atrapamientos con útiles de trabajo.
- No uses medias ni calcetines de fibras artificiales.
- Usa calzado cerrado.

1.2 Fichas de seguridad y etiquetado

Antes de manipular cualquier sustancia, lee detenidamente su etiqueta. Atiende a sus peligros y no uses productos sin conocer su ficha de seguridad (Ficha Internacional de Seguridad Química, FISQ), disponible en: <http://www.insht.es/fisq>. Los recipientes de los productos químicos deben mostrar un pictograma de seguridad como los mostrados en la Figura 1.

1.3 Normas de trabajo seguro

- No pipetear con la boca.
- No oler, inhalar o probar productos químicos en el laboratorio.
- No re-encapsular las agujas.
- Revisar el material de vidrio antes de utilizarlo.
- Prestar atención a la formación de bioaerosoles o nieblas en operaciones de apertura y cierre de envases, flameado de asas, centrifugaciones, disgregaciones ultrasónicas, etc.
- Minimizar la emisión de agentes biológicos, nieblas o vapores.
- No usar maquinaria cuyo funcionamiento se desconozca. Debe leerse el manual de uso y mantenimiento antes de manipular los equipos de trabajo.
- No anular los sistemas de seguridad que incorporan las máquinas o herramientas.
- No poner partes sobrantes, herramientas o piezas sobre los equipos de trabajo. Deben utilizarse medios seguros para transportar y manipular muestras (como gradillas, contenedores, etc.).
- Proteger las puntas de objetos punzantes si se guardan en un cajón.
- Evitar que se derramen o goteen líquidos.

1.4 Orden y limpieza

- Mantener siempre limpia y ordenada el área de trabajo.
- Evitar la presencia de objetos innecesarios (carpetas, mochilas, móviles, etc.) en el área de trabajo.
- No hacer experimentos sin autorización.

- No acumular más reactivos que los que estén en uso en el área de trabajo.
- Mantener cerrados los envases.
- Descontaminar las superficies de trabajo siempre que ocurra un derrame o un accidente.
- Mantener despejadas las zonas de paso, no dejando obstáculos en los pasillos.

1.5 Medios de protección

- Al entrar al laboratorio, localizar las vías de evacuación, extintores, duchas lavaojos y otros elementos de seguridad.

1.6 Criterios de almacenamiento

- Respetar los criterios para almacenar las sustancias químicas según sus etiquetas.

1.7 Trabajo en cabinas

- Las sustancias volátiles o peligrosas para la salud deben manipularse en cabinas de seguridad o vitrinas de gases, según corresponda a su nivel de riesgo.
- Trasvasar de forma segura sin olvidar el etiquetado de los envases.

1.8 Gestión de residuos

- Retirar y colocar los residuos, vidrio en mal estado, jeringuillas y cualquier otro desecho en los recipientes destinados a su recogida.
- Limpiar el puesto de trabajo después de cada tarea, colocando las herramientas y materiales sobrantes en lugares específicos.
- Separar los residuos que deben tratarse en autoclave.

Hay más información sobre gestión de residuos en la Unidad de Medio Ambiente de la US (<http://smantenimiento.us.es/uma>).



Figura 1. Pictogramas de seguridad de los productos químicos.

1.9 Uso de equipos de protección individual

- Deben usarse correctamente los guantes, mascarillas y otros materiales necesarios que sean adecuados al tipo de sustancia o riesgo.
- Deben usarse gafas de seguridad siempre que se realicen tareas con material de vidrio, líquidos, gases, vapores o nieblas, si intervienen envases a presión o criogénicos a diferentes temperaturas o equipos de arranque de materiales.
- Debe utilizarse calzado de seguridad si en el laboratorio se manipulan cargas mayores de 10 kg o se usan ayudas a la manipulación de cargas como carretilla, transpaleta, etc.













						
	■	■	■	■	■	■
	■	□	■	■	●	□
	■	■	□	■	■	●
	■	■	■	□	□	□
	■	●	■	□	□	□
	■	□	●	□	□	

Figura 2. Criterios de almacenamiento de sustancias químicas peligrosas. □, pueden almacenarse juntas; ■, no pueden almacenarse juntas; ●, pueden almacenarse juntas si no hay emisión de vapores y los envases no son frágiles.

2 Lugar y calendario de prácticas

Las actividades prácticas constarán de una salida de campo (SC) y dos sesiones de laboratorio (SL1 y SL2). Los detalles de cada sesión se muestran en la Tabla 1 y las fechas y horario de cada grupo en la Tabla 2. Las sesiones de laboratorio se realizarán en el Laboratorio 3 de Edafología y Química Agrícola (2º planta; Figura 3).

Tabla 1. Actividades correspondientes a la salida de muestreo y sesiones de laboratorio.

Sesión	Actividades
Muestreo	Toma de muestras
Sesión de laboratorio 1	Acidez del suelo (pH) Salinidad del suelo (CE) Color del suelo Textura del suelo
Sesión de laboratorio 2	Carbonatos del suelo Contenido en materia orgánica

Tabla 2. Fechas y horario de la salida de campo (SC) y sesiones de laboratorio (SL) de cada grupo.

Sesión	Grupo	Fecha	Hora
Muestreo	A	23/02/23	08:30-14:40
	B	22/02/23	08:30-14:40
	C	21/02/23	08:30-14:40
	D	24/02/23	08:30-14:40
	E	20/02/23	08:30-14:40
Sesión de laboratorio 1	A1	09/03/23	08:30-10:20
	A2	09/03/23	12:40-14:40
	A3	09/03/23	10:50-12:40
	B1	08/03/23	08:30-10:20
	B2	08/03/23	12:40-14:40
	B3	08/03/23	10:50-12:40
	C1	07/03/23	08:30-10:20
	C2	07/03/23	12:40-14:40
	C3	07/03/23	10:50-12:40
	D1	10/03/23	08:30-10:20
	D2	10/03/23	12:40-14:40
	D3	10/03/23	10:50-12:40
	E1	10/03/23	15:30-17:20
	E2	10/03/23	19:10-21:00
	E3	10/03/23	17:20-19:10
Sesión de laboratorio 2	A1	16/03/23	08:30-10:20
	A2	16/03/23	12:40-14:40
	A3	16/03/23	10:50-12:40
	B1	15/03/23	08:30-10:20
	B2	15/03/23	12:40-14:40
	B3	15/03/23	10:50-12:40
	C1	14/03/23	08:30-10:20
	C2	14/03/23	12:40-14:40
	C3	14/03/23	10:50-12:40
	D1	17/03/23	08:30-10:20
	D2	17/03/23	12:40-14:40
	D3	17/03/23	10:50-12:40
	E1	17/03/23	15:30-17:20
	E2	17/03/23	19:10-21:00
	E3	17/03/23	17:20-19:10

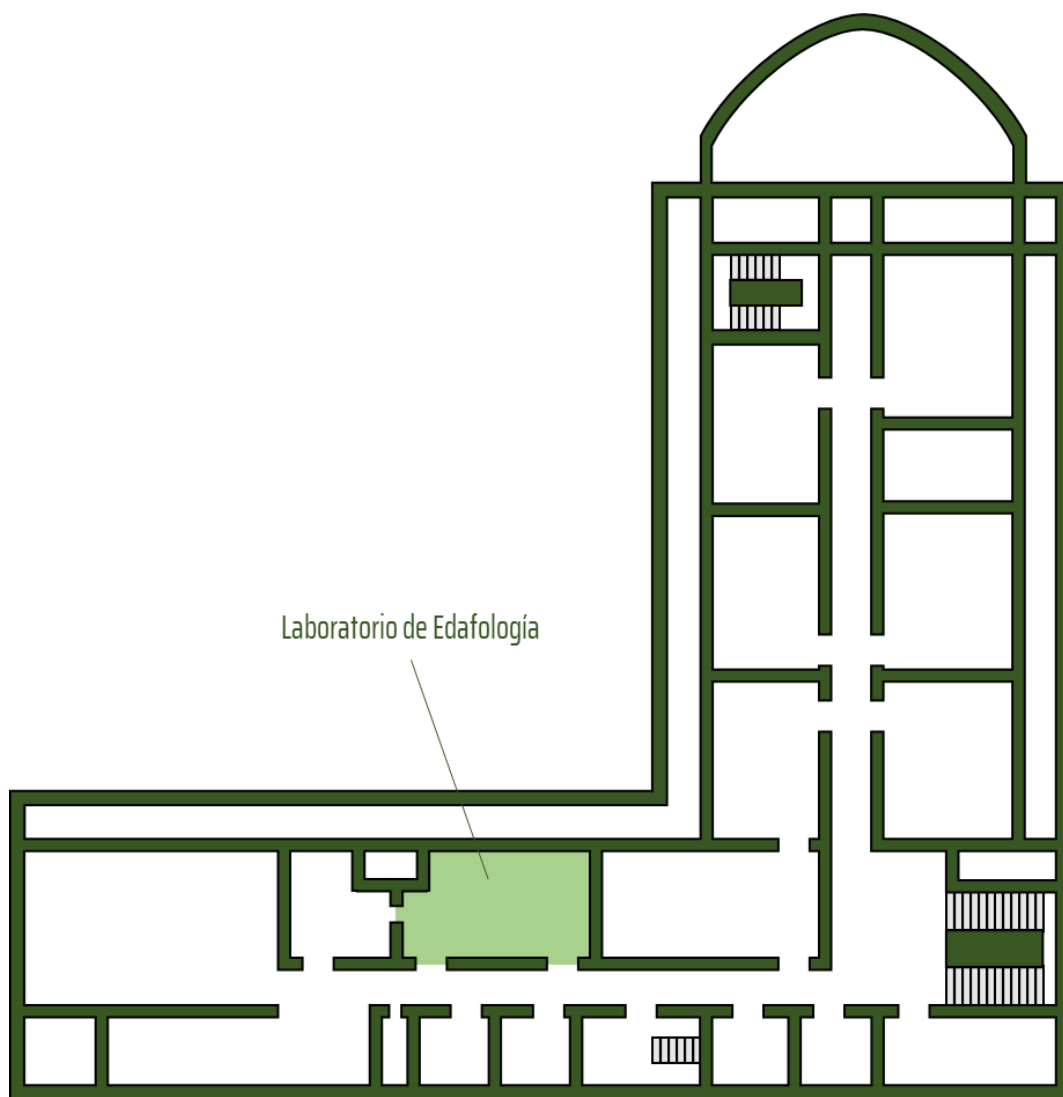


Figura 3. Situación del Laboratorio de Edafología (ETSIA, 2ª planta).

3 Descripción morfológica de una muestra de suelo no perturbada

3.1 Estructura

3.1.1 Fundamento

La estructura es el ordenamiento de los granos individuales en partículas secundarias o agregados y el espacio de huecos que llevan asociado, todo ello como resultado de interacciones físico-químicas entre las arcillas, los cationes y los grupos funcionales de la materia orgánica. Los agregados pueden clasificarse en función de su forma, grado de desarrollo y tamaño.

3.1.2 Descripción de la estructura

3.1.2.1 Tipo de estructura

En general, los tipos de estructura que podemos encontrar se muestran en la Figura 4. Los tipos principales pueden describirse así:

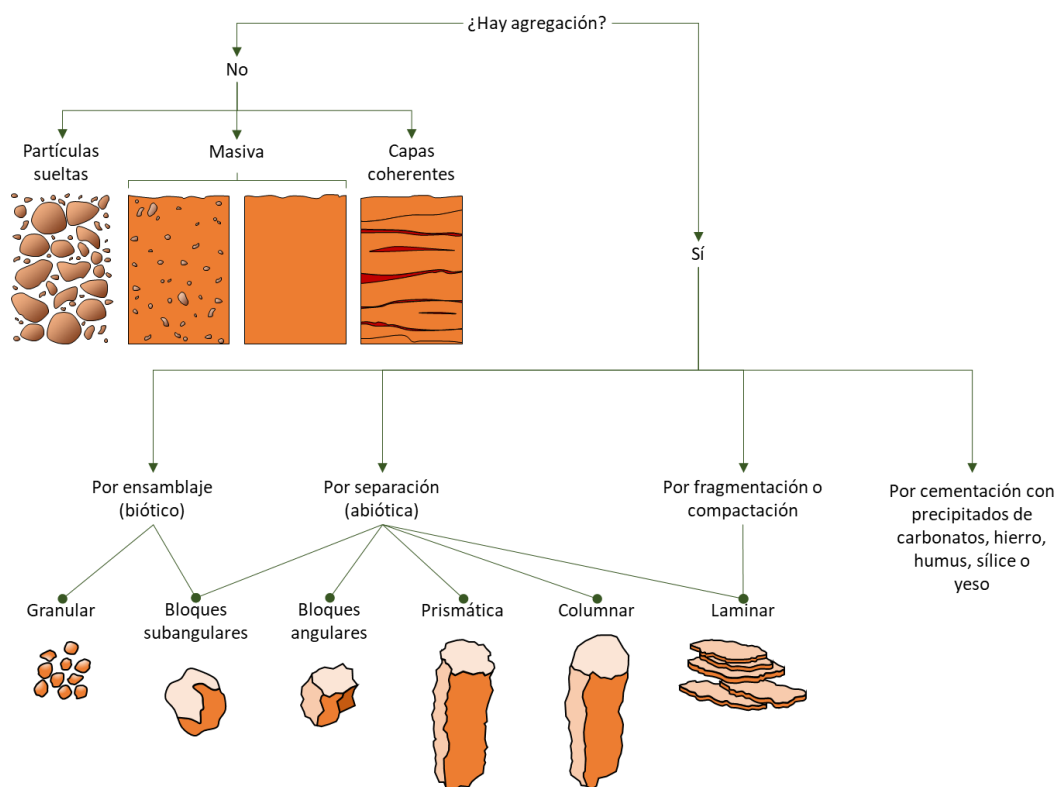


Figura 4. Génesis de los diferentes tipos de estructura principales en nuestra región. Modificado a partir de la Guía para la descripción de suelos de FAO (2009).

- **Laminar.** Agregados laminares, con la dimensión vertical limitada y mucho menor que las otras dos, orientados en un plano horizontal.

- **Prismática.** Prisma con las dos dimensiones horizontales limitadas y considerablemente menores que la vertical, normalmente orientado alrededor de un eje vertical. Posee caras verticales bien definidas y aristas y vértices con ángulos marcados.
- **Columnar.** Prisma con las dos dimensiones horizontales limitadas y considerablemente menores que la vertical, orientado alrededor de un eje vertical. El extremo superior suele ser redondeado. Las caras verticales están bien definidas y los vértices y aristas poseen ángulos marcados.
- **En bloques angulares.** Bloques de superficies planas o curvadas, moldeadas por las caras de los agregados que los rodean. Las caras son planas y la mayoría de las aristas y vértices son fuertemente angulares.
- **En bloques subangulares.** Bloques de superficies planas o curvadas, moldeadas por las caras de los agregados que los rodean. Las caras no son totalmente planas, sino redondeadas, con vértices y aristas también redondeados.
- **Granular.** Esferoides o poliedros de caras planas o curvadas, las cuales se ajustan poco o nada a los agregados que los rodean.

3.1.2.2 Tamaño de los agregados

Para establecer la clase de tamaño se seleccionarán 10 agregados del tamaño más frecuente en la muestra, midiendo su diámetro y estableciendo la clase en función al valor medio de las 10 medidas. Las clases de tamaño varían con el tipo de estructura. Para las estructuras prismática, columnar y laminar, las clases de tamaño se refieren a las medidas de la dimensión más pequeña de los agregados. Las clases de tamaño se pueden determinar mediante la Tabla 3.

Tabla 3. Clases de tamaño para los tipos de estructura del suelo (a partir de FAO, 2009).

Clase de tamaño	Granular/laminar (mm)	Prismática/columnar (mm)	En bloques (mm)
Muy fino	< 1	< 10	< 5
Fino	1 – 2	10 – 20	5 – 10
Medio	5 – 5	20 – 50	10 – 20
Grueso	5 – 10	50 – 100	20 – 50
Muy grueso	> 10	100 – 500	> 50
Extremadamente grueso		> 500	

3.2 Consistencia

La consistencia se refiere al grado de cohesión o adhesión de la masa del suelo. Incluye las propiedades del suelo como la friabilidad, plasticidad, adhesividad, y resistencia a la compresión. Depende en gran medida de la cantidad y tipo de arcilla, materia orgánica y contenido de humedad del suelo.

3.2.1 Fundamento

Es una propiedad mecánica del suelo que nos indica las fuerzas de cohesión, adherencia y resistencia a la deformación y ruptura de los agregados del suelo. Esta propiedad nos informa sobre la facilidad del paso de las raíces a través del suelo, el estado de aireación, la compactación de los agregados, la adherencia y la resistencia a la deformación.

3.2.2 Determinación

Para estudiar la consistencia realizaremos el análisis de diferentes propiedades en tres estados distintos de humedad: en seco (dureza), en húmedo (friabilidad) y en mojado (plasticidad y adhesividad).

Tabla 4. Clases de consistencia en seco (dureza) del suelo (a partir de FAO, 2009).

Clase	Descripción
Suelto	No coherente.
Blando	La masa de suelo es muy débilmente coherente y frágil. Se disgrega bajo presión muy ligera.
Ligeramente duro	Se disgrega fácilmente usando solo los dedos.
Duro	Moderadamente resistente a la presión. Puede disgregarse fácilmente usando las manos.
Muy duro	Puede disgregarse usando las manos, pero con dificultad.
Extremadamente duro	No puede disgregarse usando las manos.

Tabla 5. Clases de consistencia en húmedo (friabilidad) del suelo (a partir de FAO, 2009).

Clase	Descripción
Suelto	No coherente.
Muy friable	La masa de suelo se deforma bajo presión leve, pero es coherente cuando se moldea.
Friable	La masa de suelo se deforma bajo presión suave a moderada, pero es coherente cuando se moldea.
Firme	Se deforma bajo presión con los dedos, pero su resistencia es evidente.
Muy firme	Se aplasta bajo fuerte presión.
Extremadamente firme	No puede deformarse usando los dedos.

3.2.2.1 Dureza

Para determinar la consistencia en seco (dureza) se seleccionan agregados de tamaño medio representativo del suelo sin tamizar y se valora la presión necesaria para dispersar esos agregados, según la Tabla 4.

3.2.2.2 Friabilidad

La consistencia en húmedo (friabilidad) se determina amasando el suelo húmedo o ligeramente húmedo para formar una esfera, situándolo entre el pulgar y el índice y valorando la presión necesaria para deformarlo (Tabla 5).

3.2.2.3 Adhesividad

La adhesividad es la calidad de adhesión del material del suelo a otros objetos determinados, notando la adherencia del suelo con la presión entre los dedos. La adhesividad del suelo depende de la magnitud a la que la estructura del suelo es destruida y en la cantidad de agua presente. La determinación de la adhesividad se debe realizar bajo condiciones estándar en una muestra de suelo

cuya estructura este completamente destruida y en la que contenga suficiente agua para mostrar su máxima adhesividad. Para ello, se da forma a una esfera de suelo y se valora el grado de adherencia después de haber presionado el suelo entre el pulgar y el índice y se clasifica según la Tabla 6.

3.2.2.4 Plasticidad

La plasticidad es la habilidad del material del suelo a cambiar de forma continua bajo la influencia de una presión aplicada y retener esa forma cuando se quita esa presión. Se la determina enrollando el suelo mojado en las manos hasta formar un cordón de cerca de 3 mm de diámetro. El suelo se clasifica según la Tabla 7.

Tabla 6. Clases de adhesividad del suelo (a partir de FAO, 2009).

Clase	Descripción
No adherente	Después de liberar la presión, prácticamente el suelo no se adhiere a los dedos.
Ligeramente adherente	Al presionar con los dedos, el material de suelo se adhiere ligeramente a ellos, pero se desprende completamente después. No se extiende apreciablemente cuando los dedos se separan.
Adherente	Al presionar con los dedos, el material de suelo se adhiere a ellos y tiende a extenderse bastante cuando se separan.
Muy adherente	Al presionar con los dedos, el material de suelo se adhiere fuertemente a ellos y se extiende cuando se separan.

Tabla 7. Clases de plasticidad del suelo (a partir de FAO, 2009).

Clase	Descripción
No plástico	No se puede formar un cordón de 3 mm de diámetro.
Ligeramente plástico	Se forma el cordón, pero se rompe inmediatamente si se le curva formando un anillo. La masa de suelo se deforma bajo presión muy ligera.
Plástico	Se forma el cordón, pero se rompe al formar un anillo. La masa de suelo se deforma bajo presión moderada.
Muy plástico	Se forma el cordón y se puede formar un anillo. La masa de suelo se deforma bajo presión muy fuerte.

3.3 Color

3.3.1 Fundamento

El color del suelo es una propiedad física que permite inferir características importantes del suelo, como su composición, su edad o los procesos edáficos que tienen lugar, como la rubefacción, la acumulación de carbonatos, la presencia de materia orgánica humificada, etc. (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Del mismo modo, permite diferenciar entre distintos tipos de horizontes de un mismo perfil o entre perfiles de distintos suelos.

3.3.2 Relación entre el color y otras propiedades del suelo

En los suelos templados de nuestras latitudes predomina de manera general el color pardo: las sustancias resultantes de la alteración de la materia orgánica se oxidan y adquieren una coloración

oscura; por otra parte, algunas de estas sustancias pueden combinarse con sustancias minerales presentes en el suelo, procedentes de la mineralización de la materia orgánica (como nitrógeno, fósforo o hierro) o de la alteración química de los minerales (como los óxidos de hierro, solubles).

Esto permite, por ejemplo, la utilización del color como parámetro de la transformación antrópica del suelo, y establecer qué suelos son más idóneos para su conservación o qué suelos u horizontes de suelo pueden utilizarse para la regeneración en caso de que sea necesario. En la Tabla 8 se enumeran algunos de los principales colores del suelo y su relación con otros factores.

Los suelos agrícolas suelen presentar un color poco influenciado por la materia orgánica, ya que la aportación de residuos es mucho menor que en el caso de los suelos forestales. De esta manera, la distinción entre horizontes orgánicos y minerales es mucho más débil, debiendo apoyarse en otras propiedades como la textura o la estructura.

3.3.3 Determinación del color del suelo

La determinación del color se realiza de manera visual mediante el sistema Munsell (Munsell Color, 2010). El color de una muestra de suelo se compara con muestras de color estándar, de manera que pueden identificarse tres parámetros:

1. **Matiz.** La notación del matiz (**H**, del inglés *hue*) de un color indica su posición relativa en una escala de 100 matices de color distintos. La notación está basada en 10 clases principales: rojo (5R), rojo amarillento (5YR), amarillo (5Y), amarillo verdoso (5GY), verde (5G), verde azulado (5BG), azul (5B), azul purpúreo (5PB), púrpura (5P) y púrpura rojizo (5RP).
2. **Brillo.** La notación del brillo (**V**, del inglés *value*) indica la luminosidad u oscuridad de un color en relación con una escala neutra de grises, que va desde el negro absoluto (0/) hasta el blanco absoluto (10/).
3. **Intensidad.** La notación de la intensidad (**C**, del inglés *chroma*) indica el grado de alejamiento de un determinado matiz de color respecto a un gris neutro (5/) con el mismo brillo. La escala de la intensidad va desde /0 (gris neutro) hasta /10, /12, /14 o más, dependiendo de la muestra que se evalúe.

La notación del color se realiza a partir de estos códigos:: H V/C. En la Figura 5 se muestra un ejemplo de una de las fichas de colores Munsell. El color de la ficha situada en tercer lugar desde la izquierda, y en la segunda fila desde arriba, se codificaría como 2.5Y 6/4.

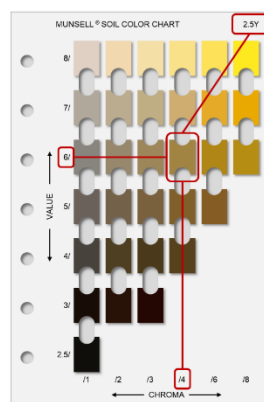


Figura 5. Ejemplo de codificación del color Munsell.

Tabla 8. Relación entre las propiedades del suelo y algunos de los colores más frecuentes.

Color	Propiedades del suelo
Oscuro o negro.	Normalmente se debe a la presencia de materia orgánica, de forma que cuanto más oscuro es el horizonte superficial más contenido en materia orgánica se le supone. Es característico de horizontes A y, en ocasiones, de horizontes Bh. Si el color oscuro se restringe a nódulos y películas se le atribuye a los compuestos de hierro y, sobre todo, de manganeso.
Claro o blanco.	Normalmente se debe a los carbonatos de calcio y magnesio, al yeso u otras sales más solubles. Los carbonatos pueden presentarse con distintos patrones, de manera continua o discontinua: en forma de nódulos, películas sobre los agregados o pseudomicelios. Las sales como el NaCl pueden acumularse también formando una costra superficial. La acumulación de carbonatos o sales más solubles puede deberse a la presencia de estas sustancias en el material original o a la aridez del clima. En los horizontes eluviales (E), el color claro es consecuencia del lavado del horizonte, que se enriquece en arenas (constituidas fundamentalmente por cuarzo).
Pardo amarillento.	Se debe a la presencia de óxidos de hierro hidratados, FeO(OH) (goethita), y unidos a la arcilla y a la materia orgánica.
Color rojo.	El color rojo aparece en el suelo como consecuencia de la alteración de los minerales, por lo que se presenta habitualmente en los horizontes Bw o Bt. Se debe a la liberación de óxidos férricos como la hematita (Fe ₂ O ₃). Este proceso se ve favorecido en climas cálidos con estaciones de intensa y larga sequía, como el clima mediterráneo. El color rojo indica un buen drenaje y ventilación del suelo, lo que permite la existencia de condiciones oxidantes para formar los óxidos.
Grisés y abigarrados ¹	Se debe a la presencia de compuestos ferrosos y férricos. Estos colores son característicos de los suelos pseudogleyicos con condiciones alternantes de reducción y oxidación. El abigarrado o veteado se presenta como grupos de manchas de colores rojos, amarillos y grises. Esta propiedad aparece en suelos que se encharcan durante un período del año. En ocasiones, puede deberse a la actividad de raíces de plantas que viven en condiciones de encharcamiento.
Gris y/o verdoso azulado	Se debe a la presencia de compuestos como el Fe(OH) ₂ , arcillas saturadas con Fe ²⁺ . Son característicos de suelos que sufren una intensa hidromorfía. Normalmente indica una falta de oxígeno en el suelo, bien por encharcamiento, bien por una baja porosidad.
Violeta	Indica la presencia de determinados minerales, como el yeso con impurezas.

¹ Según la RAE: compuesto de diversos colores llamativos o mal combinados, o de cosas heterogéneas y reunidas sin concierto.

3.4 Reacción calcárea

3.4.1 Fundamento

La presencia de carbonatos se establece mediante la adición al suelo de gotas de ácido clorhídrico diluido (10%). Aunque se trata de una prueba cualitativa, el grado de efervescencia del gas que se produce (dióxido de carbono) es indicativo aproximadamente de la cantidad de carbonatos presente en el suelo.

3.4.2 Procedimiento

- 1) Se coloca una pequeña cantidad de suelo sobre una cápsula de porcelana.

- 2) Se aplican 1 o 2 gotas de HCl diluido (10%) al suelo, teniendo cuidado de añadirlo sobre la matriz, no sobre un nódulo calcáreo o de otro tipo (Figura 6).
- 3) Se observa la efervescencia. Las clases de suelo según la efervescencia en la matriz del suelo se definen en la Tabla 9.

Tabla 9. Clasificación del suelo según la reacción del carbonato al HCl diluido.

Observación	Clasificación	Porcentaje aproximado de carbonatos
No hay efervescencia visible ni audible.	No calcáreo	0%
Se escucha la efervescencia pero no es visible.	Ligeramente calcáreo	0 – 2%
Efervescencia visible.	Moderadamente calcáreo	2 – 10%
Efervescencia fuertemente visible. Las burbujas forman poca espuma.	Fuertemente calcáreo	10 – 25%
Reacción extremadamente fuerte. Se forma la espuma espesa rápidamente.	Extremadamente calcáreo	>25%

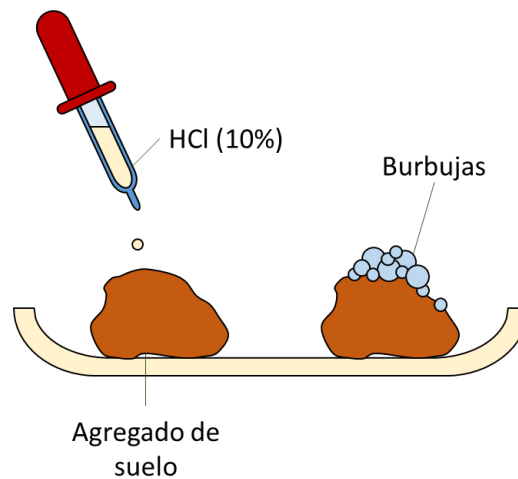


Figura 6. Ensayo de la reacción calcárea en un agregado de suelo sobre una cápsula de porcelana.

4 Acidez del suelo

4.1 Fundamento

El pH se define como el logaritmo negativo de la actividad de los iones H^+ en una solución.

La medida del pH en una suspensión de suelo en agua informa de la concentración de H_3O^+ disociados. Estos iones se encuentran en equilibrio con los no disociados, es decir, fijados a las arcillas, a la materia orgánica y a algunos compuestos en los que el Al está asociado a moléculas de agua u OH^- . Estos constituyentes sólidos, por su capacidad para fijar protones y aniones hidroxilo, moderan las variaciones de pH del suelo, denominándose la resistencia que éste ofrece a los cambios como *poder tampón*. Dicho poder tampón es tanto mayor cuanto más elevada sea la capacidad de intercambio catiónico del suelo, y, por consiguiente, cuanto mayor sea el contenido de arcilla y materia orgánica.

Sin embargo, el equilibrio en agua no tiene en cuenta la totalidad de los iones ácidos (H^+ y Al^{3+}) fijados en el complejo arcillo-húmico. Estos, que constituyen la *acidez de cambio*, pueden no obstante ser desplazados del complejo mediante otro ion, como el K^+ de una disolución de KCl. El pH medido en una solución de KCl (0.1 N) describe la reserva de acidez del suelo (pH potencial). El ion K^+ desplaza los cationes retenidos por el complejo de cambio, incluyendo los H^+ . El pH medido en KCl es igual o menor que el pH medido en agua. Si la diferencia entre pH medido en agua y en KCl es pequeña, esto indica que el complejo de cambio está saturado y el riesgo de acidificación es bajo. Por el contrario, una diferencia de 2 unidades de pH indica un riesgo alto de acidificación.

Como consecuencia del intercambio, se observa generalmente que el valor de pH en KCl es menor que el obtenido en agua, variando normalmente la medida entre 0.5 y 1.5 unidades.

Por ello, la determinación del pH del suelo se lleva a cabo en una mezcla de suelo y agua en proporción 1:2.5 y en una mezcla en las mismas proporciones de suelo y una solución de KCl.

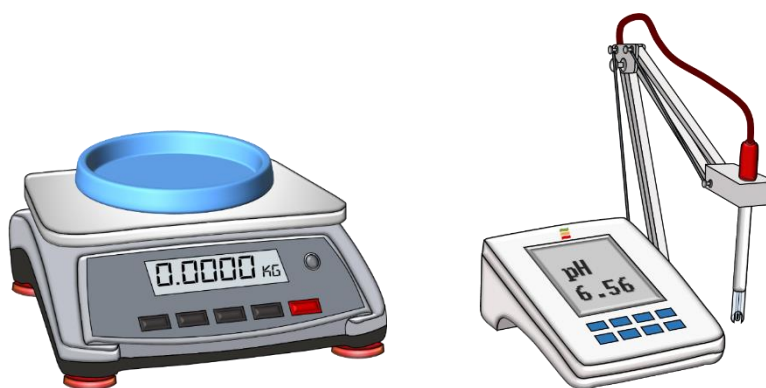


Figura 7. Izquierda: balanza electrónica. Derecha: pH-metro.

4.2 Reactivos y material

- Agua destilada.
- Solución de KCl (0.1 N).
- Vasos de precipitado (100 mL).
- Agitador magnético.
- Balanza electrónica (Figura 7, izquierda).
- pH-metro (Figura 7, derecha).

4.3 Determinación del pH en agua

- 1) Se pesan 20 g de suelo seco y tamizado por 2 mm y se colocan en un vaso de precipitado de 100 mL.
- 2) Se añaden 50 mL de agua destilada (relación suelo:agua 1:2.5).
- 3) Se agita durante 5 min y se deja reposar durante 24 h.
- 4) Se filtra el líquido. Si la muestra queda muy turbia, puede filtrarse opcionalmente.
- 5) La medida de pH se realiza directamente en el líquido filtrado mediante el pH-metro (Figura 8).

El agitador magnético puede sustituirse si se agita con una varilla de vidrio (Figura 9). Los resultados pueden interpretarse según la Tabla 10.

4.4 Determinación del pH en KCl

Se procede de forma análoga, pero usando 50 mL de una solución de KCl (0.1 N) en lugar de agua destilada. La medida potenciométrica no debe realizarse antes de 120 min.

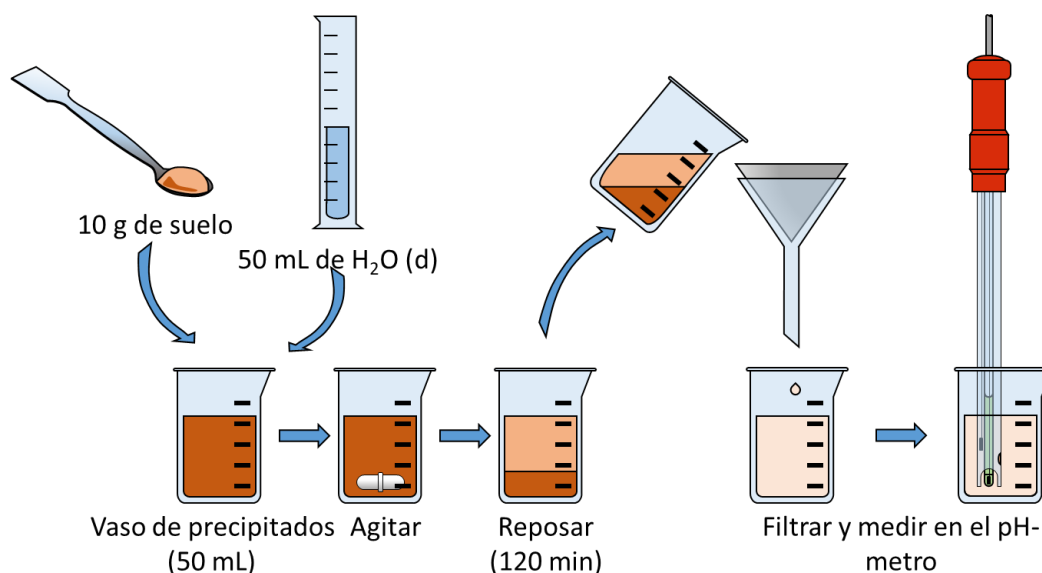


Figura 8. Esquema de la determinación de pH del suelo en agua con agitador magnético

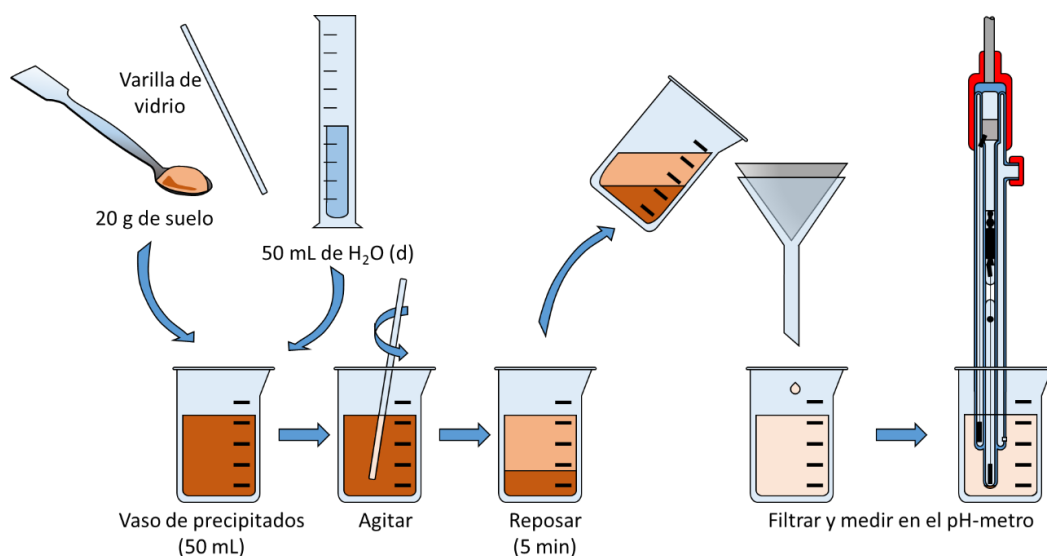


Figura 9. Esquema de la determinación de pH del suelo en agua con varilla de vidrio.

Tabla 10. Clasificación del suelo según su pH y algunas propiedades relacionadas con su fertilidad que pueden inferirse (Porta et al., 2014).

pH	Calificación	Comentario
<4.5	Extremadamente ácido	Condiciones muy desfavorables
4.5 – 5	Muy fuertemente ácido	Posible toxicidad por Al ³⁺ y Mn ²⁺
5.1 – 5.5	Fuertemente ácido	Posibles efectos por exceso de Co, Cu, Fe, Mn o Zn. Posibles deficiencias de Ca, K, N, Mg, Mo, P, S. Suelos sin carbonato cálcico. Actividad bacteriana escasa.
5.5 – 6	Medianamente ácido	Intervalo adecuado para la mayoría de los cultivos.
6.1 – 6.5	Ligeramente ácido	Máxima disponibilidad de nutrientes.
6.6 – 7.3	Neutro	Mínimos efectos tóxicos. Por debajo de pH=7.0, el CaCO ₃ no es estable en los suelos.
7.4 – 7.8	Medianamente básico	Suelos generalmente con carbonato cálcico
7.9 – 8.4	Básico	Disminuye la disponibilidad de P y B. Deficiencia creciente de Co, Cu, Fe, Mn y Zn. Suelos calizos. Posibilidad de clorosis férrica debida al HCO ₃ ⁻ .
8.5 – 9	Ligeramente alcalino	En suelos con carbonatos estos pH altos pueden deberse al MgCO ₃ , si no hay sodio intercambiable. Mayores problemas de clorosis férrica.
9.1 – 10	Alcalino	Presencia de carbonato sódico
>10	Fuertemente alcalino	Elevado porcentaje de sodio intercambiable. Toxicidad por exceso de Na y B. Movilidad del P como Na ₂ PO ₄ . Actividad microbiana escasa. Micronutrientes poco disponibles, excepto Mo.

5 Salinidad del suelo

5.1 Objetivo

La determinación de la conductividad eléctrica de una muestra de suelo en agua tiene por objeto detectar si una de las causas de posibles problemas en los cultivos es el exceso de sales solubles en el suelo. Para diagnosticar si existe o no riesgo de daños por salinidad, se recurre a la medida de la conductividad eléctrica de un extracto de suelo.

5.2 Fundamento

La presión osmótica de la solución del suelo es función del contenido de sales solubles de este. A medida que aumenta la presión osmótica, la succión que deben ejercer las raíces para obtener agua del suelo va siendo cada vez mayor, hasta llegar un momento en que la planta no es capaz de extraer más agua. Este fenómeno se conoce como *sequía fisiológica*.

El conductímetro funciona como un puente de Wheatstone (Figura 10). Si la relación de las dos resistencias del brazo ADC (R_1/ R_2) es igual a la relación de las dos del brazo ABC (R_3/R_x), el voltaje entre los puntos D y B será nulo y no circulará corriente a través del galvanómetro (V_G). Para efectuar la medida se varía la resistencia R_2 hasta alcanzar el punto de equilibrio. La detección de corriente nula se puede hacer con gran precisión mediante el galvanómetro.

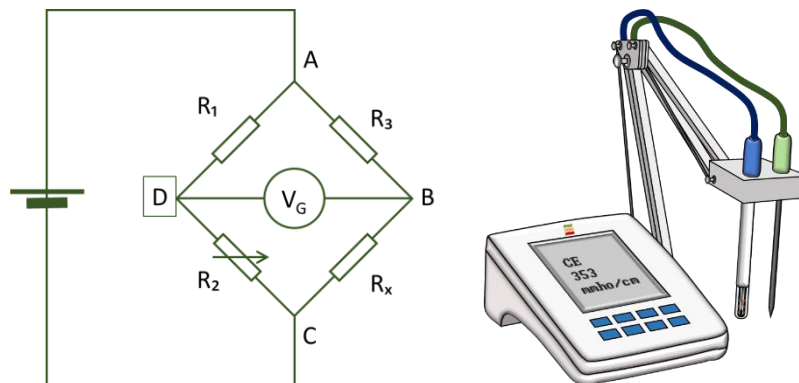


Figura 10. Izquierda: esquema de un puente de Wheatstone. R_x es la resistencia desconocida (extracto acuoso); R_2 es la resistencia ajustable; R_1 y R_3 son resistencias conocidas. Derecha: conductímetro.

5.3 Reactivos y material

- Agua destilada.
- Vaso de precipitados (100 mL).
- Agitador magnético.
- Papel de filtro.
- Embudo.
- Balanza electrónica (Figura 7, izquierda).
- Conductímetro (Figura 10, derecha).

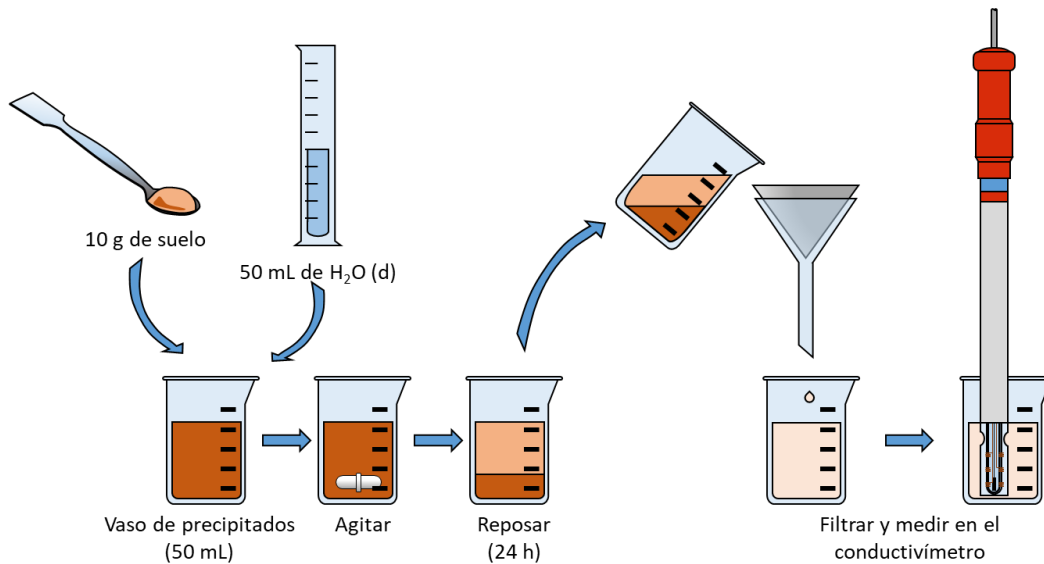


Figura 11. Esquema de la determinación de la salinidad del suelo en agua con agitador magnético.

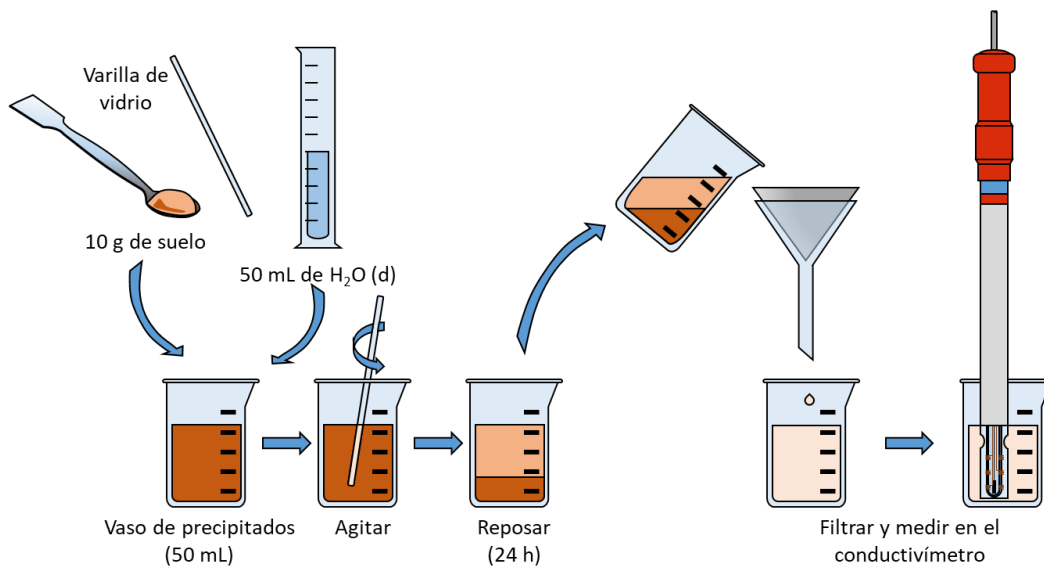


Figura 12. Esquema de la determinación de la salinidad del suelo en agua con varilla de vidrio.

5.4 Determinación de la conductividad eléctrica del extracto de suelo

- 6) Se pesan 10 g de suelo seco y tamizado por 2 mm y se colocan en un vaso de precipitado.
- 7) Se añaden 50 mL de agua destilada (relación suelo:agua 1:5).
- 8) Se agita durante 5 min y se deja reposar durante 24 h.
- 9) Se filtra el líquido.
- 10) La medida de conductividad eléctrica se realiza directamente en el líquido filtrado (Figura 11).

El agitador magnético puede sustituirse si se agita con una varilla de vidrio. Los resultados pueden interpretarse según la Tabla 11.

Tabla 11. Clasificación de la salinidad del suelo según la medida de $CE_{1.5}$.

$CE_{1.5}$ (dS/m)	Clasificación del suelo	Comentarios
< 0.35	No salino.	No deben esperarse problemas por salinidad.
0.35 – 0.65	Ligeramente salino	Solo algunas plantas sensibles presentarán problemas.
0.65 – 1.15	Salino	La mayoría de las plantas se ven afectadas, especialmente las cultivadas.
> 1.15	Muy salino	Solo las plantas resistentes pueden sobrevivir.

6 Textura del suelo

6.1 Textura al tacto

6.1.1 Fundamento

La textura es una propiedad del suelo que nos informa sobre la proporción relativa de las tres clases granulométricas de los componentes minerales del suelo: arcilla, limo y arena.

La siguiente determinación se realiza en el caso de suelos minerales (hasta un 10% de materia orgánica). La determinación debe realizarse con el suelo húmedo.

6.1.2 Determinación

- Se humedecen con agua destilada unos 25 a 50 gramos de suelo hasta alcanzar el punto de adherencia, haciendo una masa por comprensión, estiramiento... (El punto de adherencia es aquel en el que el contenido de agua es el estrictamente preciso para que la masa no se adhiera a la mano y pueda realizarse un corte limpio con cuchillo).
- Se intentan formar, con la masa, filamentos de 3 mm de diámetro y unos 10 cm de longitud.
- En caso afirmativo, se intentan doblar esos filamentos, formando anillos sin resquebrajarse ni romperse.
- Se intentan formar (eliminando la arena gruesa a simple vista) filamentos de 1 mm de diámetro y 8 cm de longitud.
- En caso afirmativo, se intentan doblar esos filamentos sin resquebrajarse.

Para interpretar los resultados, puede utilizarse la Tabla 12.

Tabla 12. Interpretación de los resultados de la determinación de textura al tacto (método de Tamés y Peral, 1965).

Textura	Porcentaje de partículas finas (limo + arcilla)	Filamento de 3 mm de grueso		Filamento de 1 mm de grueso	
		Se hace	Se dobla	Se hace	Se dobla
Arenosa	< 20%	No	No	No	No
Areno-limosa	20 – 25%	Sí	No	No	No
Limo-arenosa	20 – 25%	Sí	Con algunas resquebrajaduras	No	No
Limosas	20 – 35%	Sí	Con algunas resquebrajaduras	Sí	No
Arcillosa	> 60%	Sí	Sí	Sí	Sí

6.2 Textura del suelo mediante análisis mecánico (método del densímetro)

6.2.1 Fundamento

La textura del suelo se refiere a la proporción relativa de las clases de tamaño de partícula (o separaciones de suelo, o fracciones) en un volumen de suelo dado y se describe como una clase textural de suelo (FAO, 2009).

La densidad de una suspensión depende de la cantidad de materia suspendida por lo que, siguiendo la evolución de dicha densidad con el tiempo de sedimentación, puede determinarse la distribución de tamaño de partículas.

Experimentalmente se determina que usando un densímetro de Bouyoucos (Bouyoucos, 1962) la concentración de sólidos totales en la suspensión (g L^{-1}) indicada por la escala del densímetro a los 40 segundos después de la agitación corresponde a partículas de tamaño 0.05 mm (arcillas y limos) y la indicada a las dos horas, corresponde a partículas de diámetro 0.002 mm (arcillas). La lectura a las dos horas nos indica la concentración de arcilla en suspensión. Restando ésta de la cantidad correspondiente a los 40 segundos obtenemos limos y por diferencia entre el peso total y el conjunto de arcilla y limo obtenemos la arena.

Previamente al análisis, deben descartarse los elementos gruesos o gravas (partículas de tamaño superior a 2 mm) mediante tamizado en seco.

6.2.2 Material

- Densímetro de Bouyoucos.
- Probetas de 1 L.
- Cronómetro.
- Termómetro.

6.2.3 Reactivos

- Agua destilada.
- Solución dispersante de hexametáfosfato sódico:
 - Disolver 35.7 g de hexametáfosfato sódico (NaPO_2)₆ añadiendo lentamente sobre unos 750 mL de agua que se agita bien durante la adición.
 - Añadir 7.94 g de carbonato sódico Na_2CO_3 y completar hasta 1 L.

6.2.4 Procedimiento

La Figura 13 muestra un esquema del procedimiento.

- 1) Se pesan entre 40 y 50 g de suelo secado al aire, tamizado a través de malla de 2 mm, libre de materia orgánica y de carbonatos.
- 2) Se coloca el suelo en un vaso de precipitados de 1 L, se añaden 100 mL de solución dispersante y agua destilada hasta aproximadamente 800 mL.
- 3) Se agita durante 5 minutos.
- 4) Se completa a 1 L.
- 5) Se agita para homogeneizar el contenido.
- 6) Se introduce el densímetro y se dispara el cronómetro anotándose la medida a los 40 segundos. También se tomará la medida de la temperatura.
- 7) La medida del densímetro será C_1 .
- 8) La medida de la temperatura será T_1 .
- 9) Se espera hasta las dos horas desde el comienzo de la agitación y se vuelve a anotar.
- 10) La medida del densímetro será C_2 .
- 11) La medida de la temperatura será T_2 .

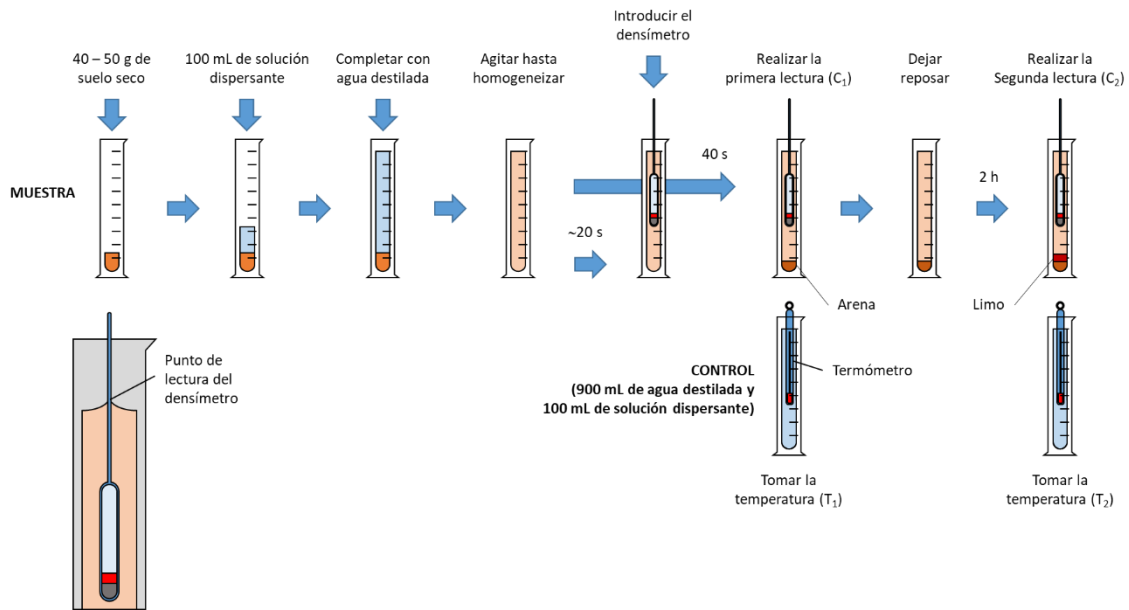


Figura 13. Esquema del procedimiento (a partir de Lesikar et al., 2005).

6.2.5 Cálculos y expresión de los resultados

- 1) Porcentaje de limo y arcilla: $A = \frac{C_1 + (T_1 - 20) \times 0.36}{P} \times 100$
- 2) Porcentaje de arcilla: $B = \frac{C_2 + (T_2 - 20) \times 0.36}{P} \times 100$

Donde:

- C₁ es la lectura del densímetro (G L⁻¹) a los 40 s.
 - T₁ es la temperatura (°C) a los 40 s.
 - C₂ es la lectura del densímetro (g L⁻¹) a las 2 h.
 - T₂ es la temperatura (°C) a las 2 h.
 - 0.36 es el factor de corrección por grado de diferencia de temperatura, siendo la temperatura de contraste el densímetro de Bouyoucos 20 °C.
 - P es la cantidad de suelo (g) empleada.
- 3) Porcentaje de arena: $C = 100 - A$
 - 4) Porcentaje de limo: $D = A - B$
 - 5) La clase textural se expresará según el triángulo de texturas del suelo (Figura 14).

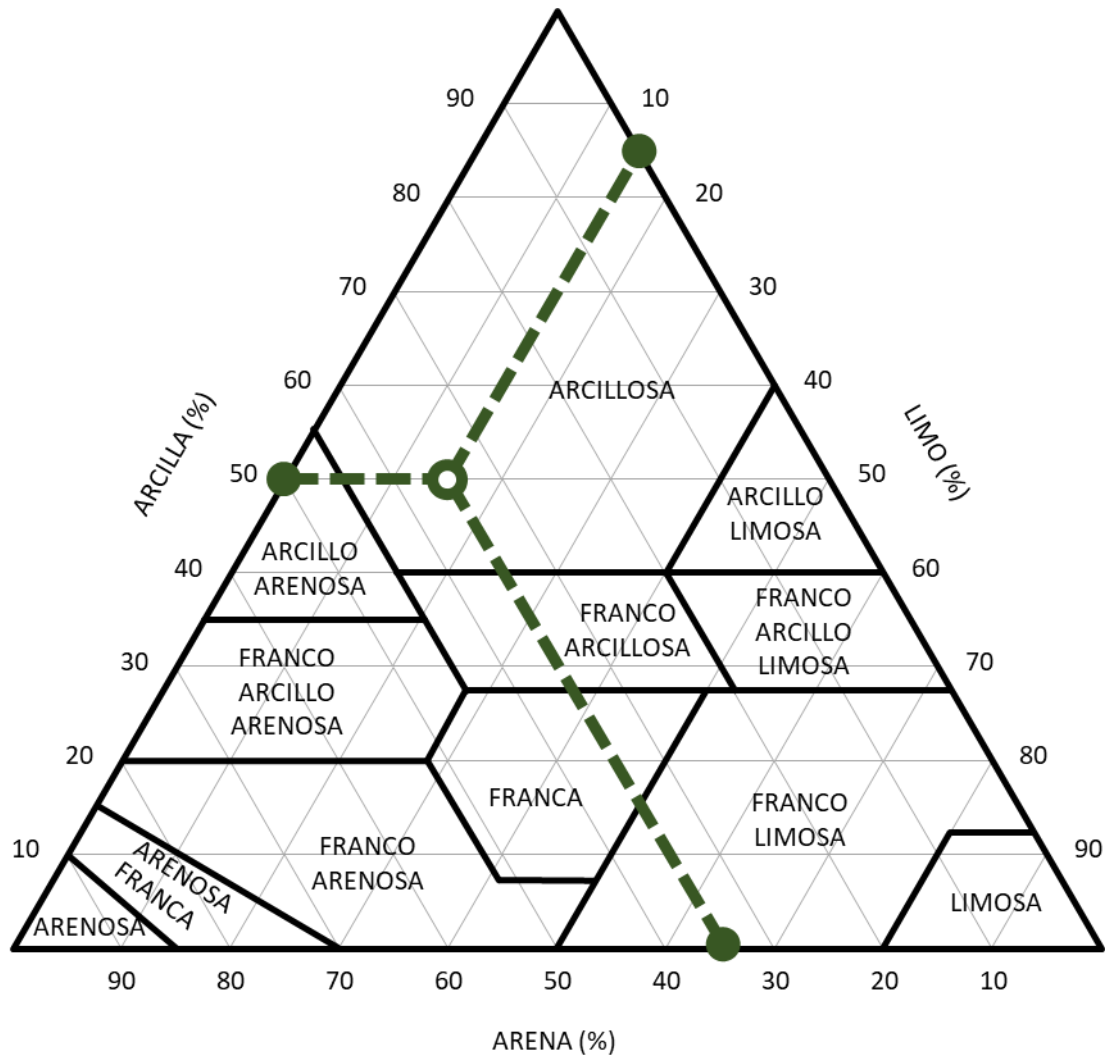


Figura 14. Triángulo de texturas del suelo. El ejemplo muestra la situación en el diagrama de un suelo con 50% de arcilla, 15% de limo y 35% de arena (textura arcillosa).

7 Contenido en carbonatos del suelo

7.1 Fundamento

El objetivo de esta práctica es conocer la riqueza en carbonatos del suelo, el poder neutralizante de una caliza agrícola, etc. Para ello se utiliza generalmente el método de determinación gasométrica o del calcímetro de Bernard (Figura 15). Dicho método constituye una medida directa de los carbonatos del suelo por determinación gasométrica del anhídrido carbónico desprendido al atacar los carbonatos que contiene una muestra de suelo con ácido clorhídrico.

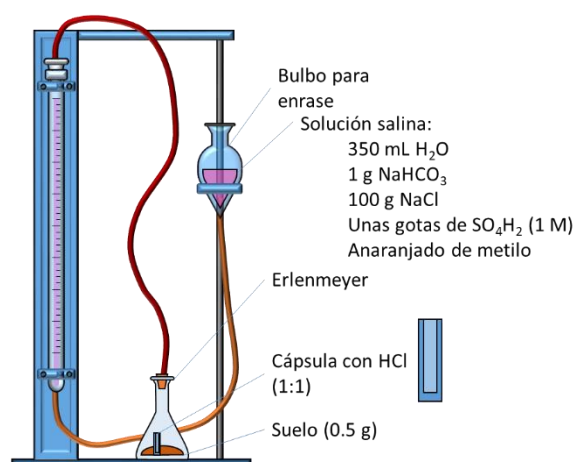
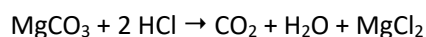
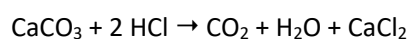


Figura 15. Calcímetro de Bernard.

Las reacciones que tienen lugar, de una manera simplificada, son las siguientes:



Para evitar tener que reducir el gas desprendido a condiciones normales de presión y temperatura, se realiza una determinación con carbonato cálcico puro e idénticas condiciones, refiriendo el porcentaje de carbonatos existentes en el suelo al carbonato puro, en función de los respectivos volúmenes de anhídrido carbónico desprendido.

7.2 Reactivos y material

- Balanza electrónica (Figura 7).
- Calcímetro de Bernard (Figura 15).
- Solución de líquido indicador (Figura 15).
- Solución de HCl (1:1). Se prepara disolviendo 50 mL de HCl cc en 50 mL de agua desionizada.
- CO₃Ca puro.
- Erlenmeyer.
- Cápsula o tubo de ensayo pequeño.

7.3 Procedimiento

- 1) Pesar 0.25 g de carbonato cálcico puro para análisis.
- 2) Se introducen en el Erlenmeyer del calcímetro.
- 3) Llenar una cápsula o tubo de ensayo pequeño con unos 5 mL de HCl (1:1) y situarlo dentro del matraz, evitando que se derrame. Pueden utilizarse unas pinzas para introducir el tubo.
- 4) Una vez cerrado el tubo y enrasado a cero el calcímetro, se vuelca el tubo de ácido en el interior del matraz y se agita suavemente para facilitar la reacción.
- 5) Se anota el máximo volumen de gas desprendido por el carbonato cálcico puro.
- 6) Seguidamente, se repite la misma operación, pesando 0.5 g de suelo y se anota el volumen de gas desprendido por el suelo tras la reacción.

7.4 Cálculo y expresión de los resultados

El resultado se expresa en porcentaje de carbonato cálcico respecto al suelo.

Este valor viene dado por la siguiente ecuación:

$$\text{Carbonatos\%} = \frac{\frac{P_C}{V_C}}{\frac{P_M}{V_M}} \times 100 = \frac{P_C \times V_M}{P_M \times V_C} \times 100$$

Donde P_C es el peso de CaCO_3 puro (g), P_M es el peso de la muestra de suelo (g), V_C es el de CO_2 desprendido por el CaCO_3 puro (mL) y V_M es el volumen de CO_2 desprendido por la muestra de suelo (mL). Los resultados pueden interpretarse mediante la Tabla 13. Si $V_C = 0.25$ g y $V_M = 0.5$ g, de forma exacta, la ecuación queda así:

$$\text{Carbonatos\%} = \frac{V_M}{V_C} \times 200$$

Tabla 13. Clases de contenido en carbonato cálcico del suelo.

CaCO₃ (%)	Descripción
< 5	Muy bajo
5 – 10	Bajo
10 – 20	Normal
20 – 40	Alto
> 40	Muy alto

8 Materia orgánica del suelo

8.1 Determinación de la materia orgánica del suelo

8.1.1 Objetivo

En el suelo, el carbono puede hallarse bajo diferentes formas:

- Compuestos inorgánicos (carbonatos, anhídrido carbónico, etc.).
- Compuestos orgánicos (restos de animales y plantas poco transformados, así como los productos derivados de ellos).

El conjunto de todas las formas bajo las que se presenta el carbono representa el *carbono total del suelo*. No obstante, el análisis que se suele realizar y los datos que corrientemente se manejan se refieren únicamente a la fracción oxidable, que sólo incluye los compuestos orgánicos a que se ha hecho mención anteriormente.

El interés de este análisis reside en:

- Obtener una información indirecta acerca de las propiedades físicas del suelo, ya que la materia orgánica influye en la retención de agua, la estructura y la aireación del suelo. Un contenido muy elevado de materia orgánica podría relacionarse en algunos casos con problemas de hidromorfismo.
- Interpretar aspectos relacionados con la nutrición de las plantas.
- Poder llegar a conocer la relación C/N que da una indicación sobre la velocidad de mineralización de la materia orgánica, es decir, de la actividad de los microorganismos del suelo. La relación C/N de un suelo agrícola oscila está en torno a 11. En suelos forestales, la relación C/N puede llegar a alcanzar un valor de 40.
- Una vez fijado el nivel óptimo de materia orgánica que debe contener el suelo, de acuerdo con las características ecológicas del sistema, el valor actual determinado en el análisis se utilizará para establecer el balance húmico y calcular así los aportes a realizar.

8.1.2 Fundamento

La determinación cuantitativa de la materia orgánica se realiza analizando el carbono orgánico. Los métodos de análisis para el carbono orgánico se basan en su oxidación, y pueden agruparse en dos clases:

- Métodos por vía seca.
- Métodos por vía húmeda.

Los métodos por vía húmeda se basan en la oxidación de la materia orgánica con dicromato potásico y ácido sulfúrico (Walkley, 1957; Walkley & Black, 1934). La velocidad e intensidad de esta oxidación depende en los distintos métodos utilizados, de la cantidad y forma de la materia orgánica en la muestra, así como de la temperatura de reacción utilizada. El Cr^{3+} procedente de la reducción del dicromato por la materia orgánica se valora por métodos colorimétricos o volumétricos. El mecanismo analítico se fundamenta en las siguientes reacciones:

- Reducción del Cr^{6+} : $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14 \text{H}^+ + 6 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{Cr}^{3+} + 7 \text{H}_2\text{O}$
- Oxidación de la materia orgánica: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2 \rightarrow 6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$

- Valoración posterior del exceso de oxidante ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) con una sal ferrosa (sal de Möhr):
 $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$

8.1.3 Método

En esta experiencia se determinará la cantidad de materia orgánica del suelo que se oxida con dicromato potásico en presencia de ácido sulfúrico. El exceso de oxidante se valora con sulfato ferroso amónico (sal de Möhr) y la cantidad de materia orgánica se calcula a partir de la cantidad de dicromato reducido.

8.1.4 Reactivos y material

- Balanza electrónica (Figura 7).
- Campana de absorción (Figura 16).
- Erlenmeyer (500 mL).
- Varillas agitadoras.
- Bureta de 25 o 50 mL.
- Probeta de 100 mL.
- Pipeta de 10 mL.
- $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (1N).
- SO_4H_2 concentrado y dosificador.
- H_3PO_4 concentrado.
- Ortofenantrolina.
- Sal de Möhr (0.5 N) (sulfato ferroso amónico: $(\text{SO}_2)_2 \text{Fe} (\text{NH})_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$).

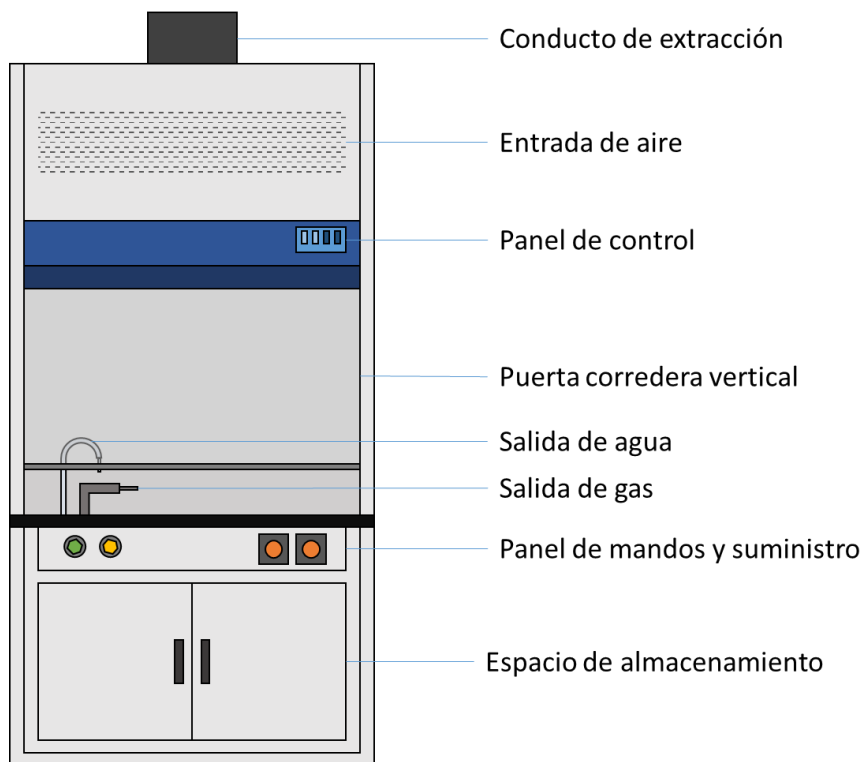


Figura 16. Campana de absorción.

8.1.5 Procedimiento

El procedimiento descrito a continuación se esquematiza en la Figura 17.

- 1) Pesar 1 g de muestra de suelo (0.5 en el caso de suelos ricos en materia orgánica) seca y tamizada por 2 mm.
- 2) Colocar la muestra en un Erlenmeyer en una campana de absorción de gases.
- 3) Añadir 10 mL de la solución de dicromato potásico y mezclar, agitando suavemente durante 30 s.
- 4) Añadir lentamente 20 mL de ácido sulfúrico concentrado.
- 5) Agitar y dejar en reposo 30 min.
- 6) Agregar 100 mL de agua destilada, enfriar.
- 7) Añadir 10 mL de ácido fosfórico concentrado.
- 8) Preparar del mismo modo, una prueba en blanco (sin muestra de suelo).
- 9) Extraer las muestras y la prueba en blanco de la campana de gases.
- 10) Añadir a ambas preparaciones 0.5 mL de ortofenantrolina y valorar con sal de Möhr hasta viraje a rojo granate.

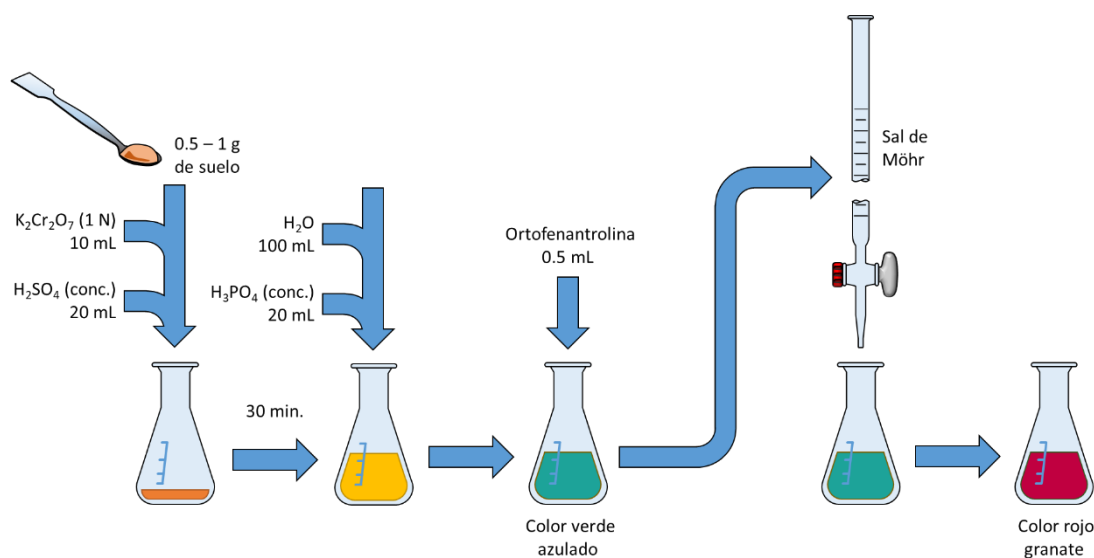


Figura 17. Esquema de la determinación de carbono orgánico mediante sal de Möhr.

8.1.6 Cálculos y expresión de los resultados

El porcentaje de carbono fácilmente oxidable (CFO) se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\text{CFO}\% = \left(1 - \frac{M}{B}\right) \times \frac{3}{P}$$

Donde M es el volumen (mL) de sal de Möhr consumidos en la valoración de la solución que contiene la muestra, B es el volumen (mL) de sal de Möhr consumidos en la valoración de la prueba en blanco y P es el peso (g) de suelo.

Si tenemos en cuenta que solo el 77% del carbono que hay en el suelo es fácilmente oxidable, podemos usar este porcentaje para aplicar un factor de recuperación y calcular el carbono orgánico (CO) de acuerdo a la siguiente expresión:

$$CO\% = CFO\% \times \frac{100}{77}$$

Finalmente, para obtener el contenido en materia orgánica (MO) del suelo, utilizamos el factor de conversión 2 (Pribyl, 2010):

$$MO\% = CO\% \times 2$$

Tabla 14. Clasificación del contenido en materia orgánica (MO) del suelo.

MO (%)	Clasificación
< 1	Muy pobre
1-2	Pobre
2-2.5	Normal
2.5-3.5	Alto
> 3.5	Muy alto

8.1.7 Relación C/N

Es interesante también calcular la relación C/N a partir de los datos de CO% y N%. Las cantidades de CO y las relaciones C/N orientativas en suelos agrícolas se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15. Cantidades de C orgánico y relaciones C/N orientativas en suelos agrícolas.

Regadío			Secano		
Clase	CO%	C/N	Clase	CO	C/N
Muy alto	>2.5	>15	Alto	>0.18	>13
Alto	1.81-2.4	12-15	Moderado	1.10-1.60	9-12
Moderado	1.45-1.80	9-11	Bajo	<1.09	<8
Bajo	1.44-1.15	8-7			
Muy bajo	<1.15	<7			

Referencias

- Bouyoucos C.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle-size analysis of soils. *Agronomy Journal*, 54:464-465.
- Drouineau, G. 1942. Dosage rapide du calcaire actif des sols: Nouvelles données sur la repartition et la nature des fractions calcaires. *Annales Agronomiques*, 12: 441–450
- FAO. 2009. Guía para la descripción de suelos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.
- Lesikar B, Hallmark C, Melton R, Harris B. 2005. On-site wastewater treatment systems: Soil particle analysis procedure. B-6175. 8-05. Texas Cooperative Extension. The Texas A&M University System. College Station, TX.
- Munsell Color. 2010. Munsell soil color charts : with genuine Munsell color chips. Munsell Color. Grand Rapids, MI
- Porta J., López-Acevedo M., Poch R. 2014. Edafología: uso y protección del suelo. Mundi-Prensa. Madrid.
- Pribyl, D.W. 2010. A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. *Geoderma*, 156:75-83. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.02.003>.
- Tamés, C., Peral, T. 1965. Ensayos rápidos semicuantitativos para la caracterización de suelos con fines agrícolas. Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas. Madrid.
- Yaalon, D.H. 1957. Problems of soil testing on calcareous soils. *Plant and Soil*, 8:275-288. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01666162>.
- Walkley A. 1947. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils: effect of variations in digestion conditions and inorganic soil constituents. *Soil Science*, 63:251-264.
- Walkley A, Black IA. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37:29-38.



Métodos de Análisis de Suelos

En este manual se incluyen los métodos sencillos para el análisis de suelos incluidos en el temario práctico del Módulo de Edafología de la asignatura Edafología y Climatología Agrícola, impartida en el primer curso del Grado en Ingeniería Agrícola de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Sevilla.