

ESTIMACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO EN GABINETE Y SU APLICACIÓN EN LA IDENTIFICACIÓN DE HORIZONTES EDÁFICOS

Determination of soil physical properties and its application in the identification of soil horizons

Irene Ortiz (*), Emilia Fernández (**), Francisco Martín (**) y Carlos Dorronsoro (**)

RESUMEN

El suelo es uno de los recursos naturales más importantes de nuestro planeta puesto que es el substrato que sustenta la vida. Este taller está enfocado hacia la fácil determinación en clases de gabinete de propiedades físicas del suelo como la textura, la estructura y el color. Estas propiedades resultan fundamentales a la hora de distinguir los diferentes horizontes edáficos que forman el perfil de un suelo y de clasificarlo y permiten inferir algunas características del comportamiento que el suelo tendrá con respecto a aspectos como la dinámica del agua o la contaminación.

ABSTRACT

The soil is one of the most important resources of our planet because it is the life substrate. This workshop deals with the easy determination of some physical properties of the soil like texture, structure and color. These properties are fundamental when distinguishing the different horizons of the soil profile, thus allowing its classification and the elucidation of some characteristics of the behavior of the soil, specially those related to the water dynamic and the soil contamination processes.

Palabras clave: Edafología, Suelo, Propiedades del suelo, Horizontes del suelo, Enseñanza de la Edafología.

Keywords: Soil Science, Soil, Soil properties, Soil horizons, Soil Science Teaching.

INTRODUCCIÓN

El **suelo**, la capa más superficial de la corteza terrestre, constituye uno de los recursos naturales más importantes con el que contamos al ser el substrato que sustenta la vida en el planeta. La importancia del suelo radica en que es un elemento natural dinámico y vivo que constituye la interfaz entre la atmósfera, la litosfera, la biosfera y la hidrosfera, sistemas con los que mantiene un continuo intercambio de materia y energía. Esto lo convierte en una pieza clave del desarrollo de los ciclos biogeoquímicos superficiales y le confiere la capacidad para desarrollar una serie de funciones esenciales en la naturaleza de carácter medioambiental, ecológico, económico, social y cultural. De igual forma, es importante destacar el papel del suelo como filtro de la contaminación producida por compuestos orgánicos e inorgánicos, impidiendo que alcancen las aguas subterráneas y el aire o que entren en la cadena alimenticia. Desde el punto de vista edáfico, un suelo es un cuerpo natural tridimensional formado por la progresiva alteración física y química de un material original o roca madre a lo largo del tiempo, bajo unas condiciones climáticas y topográficas determinadas y sometido a la actividad de organismos vivos. A lo largo de su evolución o edafogénesis, en el suelo

se van diferenciando capas verticales de material generalmente no consolidado llamados horizontes, formados por constituyentes minerales y orgánicos, agua y gases, y caracterizados por propiedades físicas (estructura, textura, porosidad, capacidad de retención de agua, densidad aparente, etc.), químicas y físico-químicas (pH, potencial redox, capacidad de intercambio catiónico, etc.) que los diferencian entre sí y del material original. El conjunto de horizontes constituye el perfil del suelo y su estudio permite dilucidar los procesos de formación sufridos durante su evolución y llevar a cabo su clasificación dentro de las distintas unidades de suelos.

El objetivo fundamental de este taller es mostrar al alumno, de forma fácil en clases de gabinete, cómo se determina el tipo de estructura de los agregados edáficos, su color en seco y en húmedo mediante las Tablas Munsell, y cómo se puede caracterizar cualitativamente el contenido de arena, limo y arcilla de distintas muestras de suelos. Estas propiedades resultan fundamentales a la hora de distinguir los diferentes horizontes edáficos que forman el perfil de un suelo y de clasificarlo y permiten inferir algunas características del comportamiento que el suelo tendrá con respecto a aspectos como la dinámica del agua o la contaminación. Asimismo, se pretende mostrar al alumno con

(*) Departamento de Geología, Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares, Madrid (Spain). irene.ortizbernad@uah.es

(**) Departamento de Edafología y Química Agrícola, Universidad de Granada. Granada (Spain).

unas herramientas informáticas de fácil manejo cómo se pueden aplicar estas y otras características del suelo para identificar los distintos horizontes de un perfil.

EL COLOR

El color es probablemente el primer aspecto en el que uno se fija cuando tiene ante sí un suelo. Es una propiedad que puede resultar de gran ayuda a la hora de reconocer cualitativamente los distintos horizontes del suelo y permite inferir la posible naturaleza de sus componentes y de los procesos que han dado lugar a la génesis del suelo (Bigham and Ciolkosz, 1993; Porta *et al.*, 2003).

Con objeto de evitar imprecisiones a la hora de estimar el color de cada horizonte de suelo, los edafólogos utilizan un sistema de cuantificación por comparación directa utilizando la Tabla de Colores Munsell (Munsell Soil Color Chart). La descripción del color se realiza utilizando tres parámetros que vienen representados en cada hoja de las Tablas Munsell (Birkeland, 1999; Buol *et al.*, 2003; Shantzel and Anderson, 2005) (Figura 1):

– El **Hue** (o matiz), que hace referencia a la composición cromática de la luz que emana del objeto y que está relacionado con la longitud de onda dominante en la radiación reflejada. Cada hoja de las Tablas Munsell se corresponde con un hue específico, de forma que todos las muestras de suelo cuyo color se encuentra en una determinada hoja tienen el mismo hue o matiz. Así, se reconocen cinco colores principales, denotados por las letras R (rojo), Y (amarillo), G (verde), B (azul), P (púrpura), y sus colores intermedios fruto de la combinación de los anteriores (YR, GY, BG, PB). Para cada hue se establece una gradación de 0 a 10, de forma que el valor 10 de cada hue se corresponde con el valor 0 del hue de la tabla siguiente (e.g. 10R=0YR). El factor que más influencia el hue es la mineralogía de la muestra: los suelos rojos suelen ser ricos en compuestos de hierro férrico

– El **Value** (o brillo), que mide el grado de oscuridad o de claridad del color en comparación con el blanco absoluto y expresa la proporción de luz reflejada. El value varía de 0 (negro) a 10 (blanco absoluto), en incrementos de dos en dos, y se representa verticalmente en cada una de las hojas de las Tablas Munsell. Así, cuanto mayor es el value mayor es la proporción de blanco que tiene el color.

– El **Croma** (o intensidad cromática), que expresa la pureza relativa del color. Se representa en la horizontal de cada hoja de las Tablas Munsell y su valor varía entre 0 (menos intenso) y 10 (más intenso), también reflejado en incrementos de dos en dos. El croma mide la proporción de gris que contiene el color, de forma que cuanto mayor es el croma más puro es el color y menos gris contiene.

La notación del color teniendo en cuenta estos tres componentes viene dada de la forma *hue va-*

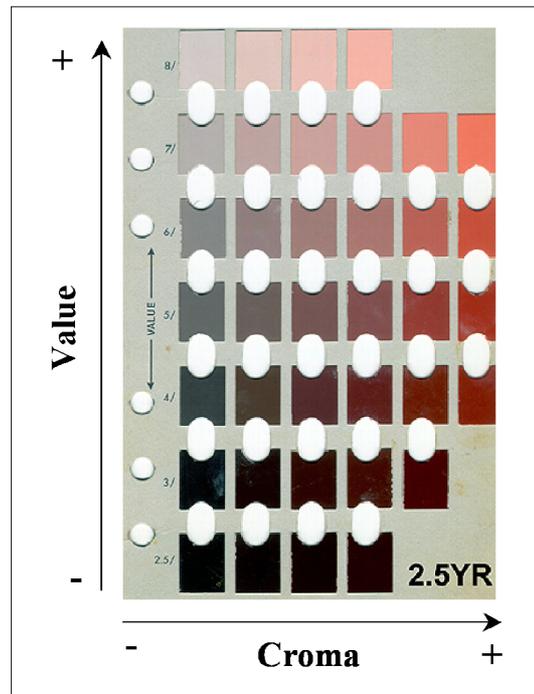


Fig. 1. Una de las hojas de las Tablas Munsell, correspondiente al Hue 2,5YR.

lue/croma y se le asigna un nombre. Por ejemplo, la notación de color 5YR 6/3 indica un hue de 5YR, un value de 6 y un croma de 3 y recibe el nombre de marrón rojizo claro; del mismo modo, la notación de color 2,5Y 6/8 indica un hue de 2,5Y, un value de 6 y un croma de 8 y recibe el nombre de amarillo oliva (Soil Survey Staff, 1975).

La determinación del color depende del grado de humedad de la muestra, en especial en lo que se refiere al valor que toma el value. Por ello, el color de un horizonte de suelo se suele medir en el campo cuando se describen sus características, esto es, en condiciones naturales de humedad, aunque también se suele medir en seco y ambos valores se reflejan en la descripción del horizonte.

El color de un suelo no se puede evaluar a partir de una sola muestra sino que es necesario comparar los distintos horizontes de alteración entre sí (horizontes A y B) y con el material original (horizonte C). Normalmente, los horizontes de un mismo perfil de suelo muestran el mismo value de hue, mientras que los valores de value y croma varían con respecto al material original conforme se produce la alteración del material. A grandes rasgos, en el horizonte Bw, de alteración, el color se hace más intenso por la liberación durante el proceso de meteorización de elementos cromóforos como el hierro y, en consecuencia, el croma aumenta con respecto al horizonte C subyacente. Por su parte, en el horizonte A superficial, el color también se hace más intenso debido a la alteración y también más oscuro como consecuencia de la acumulación de materia orgánica en el proceso de humificación, con lo que el croma aumenta y el value disminuye con respecto al horizonte C (Figura 2).

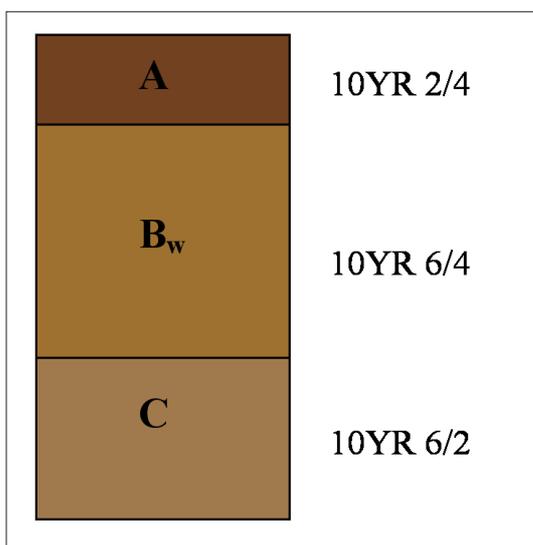


Fig. 2. Ejemplo de cómo varían los parámetros de color en los horizontes de alteración (A y B_w) en comparación con el material original (C).

LA TEXTURA

La textura es una propiedad del suelo que expresa la proporción relativa entre los distintos tamaños de partículas minerales elementales con un diámetro inferior a 2 mm, fracción esta denominada *tierra fina*. Para determinar la textura o realizar el análisis granulométrico cuantitativo es necesario destruir los agregados estructurales, disgregar las partículas minerales y aislarlas según las distintas clases granulométricas: *arena*, *limo* y *arcilla*. Los bloques (mayores de 20 cm), piedras (entre 2 y 20 cm) y las gravas (de 2 cm a 2 mm) quedan excluidos del análisis granulométrico para definir la textura de un horizonte de suelo.

Para separar las distintas fracciones granulométricas (arena, limo y arcilla) se emplean límites numéricos. De acuerdo con la clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), los límites numéricos se muestran en la Figura 3.

Las posibles combinaciones en los porcentajes de arena, limo y arcilla se agrupan en una serie de clases texturales nombradas en función de cuál es la fracción granulométrica que más predomina. La representación de las distintas clases texturales se hace en diagramas triangulares como los de la Figura

4. De acuerdo con esta representación, se pueden distinguir clases arenosas, limosas y arcillosas y sus combinaciones. El término *franco* hace referencia a un cierto equilibrio entre las proporciones de arena, limo y arcilla. Como se puede observar, la denominación de la clase textural incluye ya la calificación de arcilloso (*franco arcillo arenoso*) con tan sólo un 20% de arcilla. Por el contrario, no se habla de texturas limosas (*arcillo limoso*) hasta alcanzar un 40% de limo y se requiere un mínimo de 44% de arena para que aparezcan clases texturales que hagan referencia a la presencia de arena (*franco arcillo arenoso*), que sólo contribuye significativamente a la clase textural a partir de un 70% (*arenoso franco*). Esto pone de manifiesto la importancia de la fracción arcilla a la hora de nombrar las clases texturales, consecuencia de que esta fracción es mucho más determinante que las otras en el comportamiento de los horizontes del suelo, especialmente en lo que se refiere a la distribución del agua y la respuesta de las plantas.

La determinación cuantitativa de las distintas proporciones de arena, limo y arcilla se realiza en el laboratorio y requiere la previa destrucción de los agregados estructurales que permita la individualización de las partículas minerales. Para ello, además de otros métodos físicos como la trituración suave, se recurre a la destrucción de la materia orgánica de la muestra mediante oxidación con peróxido de hidrógeno y a la dispersión de las arcillas con hexametáfosfato sódico. Estos métodos pueden ir acompañados de otros tratamientos según el agente cementante de cada muestra que se quiera analizar. La fracción arena se determina por tamizado, mientras que las fracciones limo y arcilla se establecen por sedimentación en fase acuosa.

No obstante, las clases texturales también se pueden determinar aproximadamente de forma cualitativa en base a características como la plasticidad, aspereza o untuosidad de la muestra en la mano (Figura 5). El método consiste en humedecer la muestra hasta la saturación e intentar hacer un cilindro con ella. De acuerdo con la facilidad que se tenga para formar el cilindro y doblarlo o no para formar un anillo se establecen las texturas arcillosas, franco arcillosas y francas. La importancia relativa en el contenido en arena se determina frotando la muestra junto al oído para escuchar el mayor o menor rechinar de los granos de arena entre sí, mientras que la contribución relativa de la fracción limosa se puede detectar por el tacto jabonoso de la muestra ya que las texturas limosas tienen carácter untuoso.

Arcilla	Limo		Arena					
	Fino	Grueso	Muy fina	Fina	Media	Gruesa	Muy gruesa	
	0,002	0,02	0,05	0,1	0,25	0,50	1	2 mm

Fig. 3. Tabla de distribución granulométrica.

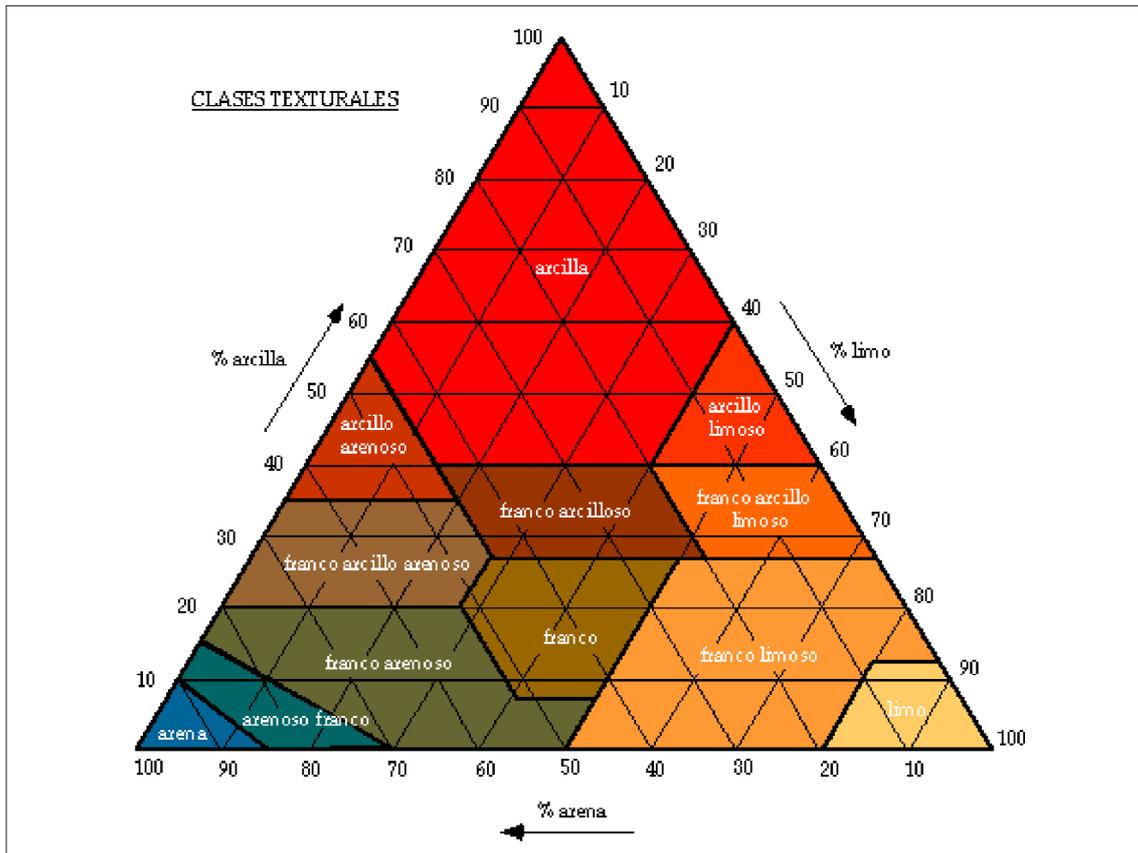


Fig. 4. Diagrama triangular que muestra la denominación de las distintas clases texturales en función de las proporciones de arena, limo y arcilla.

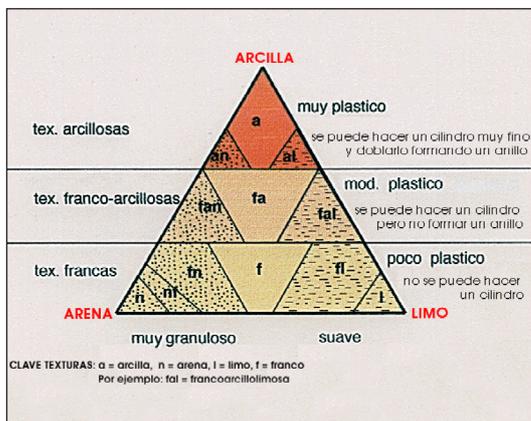


Fig. 5. Representación gráfica del diagrama textural simplificado.

La textura es una condición del suelo de gran importancia por dos razones: en primer lugar porque es una de las características del suelo más estable y, en segundo lugar, porque permite inferir otras propiedades y características directamente relacionadas con el uso y el comportamiento del suelo como la superficie específica, la capacidad de retención de agua útil para las plantas, la porosidad, la capacidad para almacenar y transferir fases líquidas y gaseosas, los riesgos de erosión, etc.

LA ESTRUCTURA

La estructura es una propiedad física del suelo que permite diferenciarlo de un material geológico y se puede definir como el ordenamiento de los granos individuales en partículas secundarias o agregados edáficos y el espacio de huecos que llevan asociados, todo ello como resultado de interacciones físico-químicas entre las arcillas y los grupos funcionales de la materia orgánica. El grado de diferenciación o de desarrollo de los agregados edáficos expresa la cohesión dentro de los agregados y la adherencia entre ellos. En los suelos con una estructura bien desarrollada, al secarse, aparecen claramente líneas de figuración preferencial entre agregados. La estructura se manifiesta en estado seco, cuando el suelo se agrieta y permite la individualización de los agregados edáficos, mientras que en estado húmedo esas grietas tienden a cerrarse y dificultan la observación de la estructura. No obstante, estos agregados deben ser lo suficientemente estables al agua como para permitir que el agua pueda seguir circulando por el suelo después de haber sido humedecido (Porta *et al.*, 2003).

En muestras de mano estudiadas en campo se puede observar y analizar la macroestructura o simplemente la estructura de cada horizonte. En lámina delgada, a escala microscópica, se puede caracterizar la microestructura. Para definir el grado de desarrollo de la estructura, se parten con las manos res-

petidamente fragmentos grandes en otros más pequeños, observando la facilidad con que se separan y si se parten o no según líneas preferenciales de figuración o bien en cualquier dirección.

Un suelo bien estructurado evita fenómenos de sellado en superficie y favorece la infiltración del agua, la aireación, el desarrollo de la vegetación y la actividad de los microorganismos. Asimismo, un suelo bien estructurado es más resistente a la erosión que sus partículas inorgánicas y orgánicas individualmente.

La estructura de un horizonte de suelo se describe atendiendo al grado, forma y tamaño de los agregados. Los horizontes que no poseen agregados edáficos individualizados se dice que no presentan estructura o que son apediales. Así, se distingue entre horizontes con estructura masiva, de textura fina, generalmente endurecidos, sin fisuras ni planos preferentes de ruptura; y con estructura granular simple, típicos de horizontes arenosos en los que los granos se muestran sueltos con apariencia pulverulenta.

Si se tiene en cuenta el grado de desarrollo de la estructura, se habla de estructura:

– *Débil*, con agregados escasamente formados e indistintos apenas visibles y superficies de debilidad entre agregados poco definidas. Nivel de organización bajo.

– *Moderada*, con agregados bien formados y diferenciados, de duración moderada, y evidentes aunque indistintos en suelos no alterados. Nivel de organización medio.

– *Fuerte*, con agregados duraderos separados por planos de debilidad bien definidos cuando el horizonte está seco. Nivel de organización alto.

De acuerdo con la forma y disposición de los agregados edáficos, podemos encontrar distintos tipos de estructura (Figura 6):

– *Laminar*, que genera planos horizontales en forma de láminas cuando se agrieta. Se forma casi siempre en zonas de aporte de materiales, zonas de relleno, que se encharcan durante los periodos húmedos, como por ejemplo en suelos de llanura de inundación. Se originan por impacto de las gotas de lluvia sobre costras superficiales y también como consecuencia de presiones superficiales extra como el paso de ganado, que va apelmazando el suelo en superficie. Se trata de una estructura perjudicial porque el sistema de grietas horizontales impide la penetración vertical de las raíces, el agua y el aire.

– *Prismática*, en la que la dimensión principal es la vertical. Las grietas del suelo son verticales y forman prismas de diferentes tamaños, poliedros con una cara más grande que las otras, vértices angulares y sin estar redondeados en su parte superior. Es típica de horizontes arcillosos, con lo que los prismas suelen tener una permeabilidad interna pequeña y dificultan el paso del agua. En estos materiales ricos en arcilla, cuanto menor es el tamaño de los prismas mayor es el desarrollo de estructura. Los suelos con estructura prismática tienen dificul-

tades asociadas con la infiltración del agua: cuanto mayor es el tamaño de los prismas menor es la infiltración. Esto puede dar lugar a problemas de hidromorfía que requieran prácticas de drenaje.

– *Columnar*, semejante a la estructura prismática pero en la que la parte superior de los prismas es redondeada. Es típica de los suelos alcalinos y está condicionada por la presencia de sodio en el suelo. Se trata de una estructura poco extendida.

– En *bloques*, en la que los agregados edáficos se disponen en forma de bloques, poliedros de formas variadas que tienen superficies planas o curvadas moldeadas por las caras de los agregados que los circundan. En este tipo de estructura las grietas no siguen ninguna dirección preferencial y en su construcción interviene la arcilla y la materia orgánica unidos por cationes puente. Se distingue entre *bloques angulares*, con caras y aristas vivas, agudas y vértices angulosos; y *bloques subangulares*, con caras aplanadas, redondeadas y vértices también redondeados. Es la estructura más extendida y es especialmente frecuente en horizontes cámbicos.

– *Granular*, constituida por agregados en forma de esfera, redondeados, de tamaño comprendido entre 0,1-1 cm, generalmente en el horizonte superficial. Es típica de medios biológicamente activos ricos en bases y materia orgánica. La porosidad interna del agregado es pequeña y en eso se diferencia de la estructura migajosa.

– *Migajosa*, similar a la granular pero en la que los agregados presenta una porosidad interna más elevada y es típica de horizontes superficiales muy ricos en materia orgánica bien evolucionada.

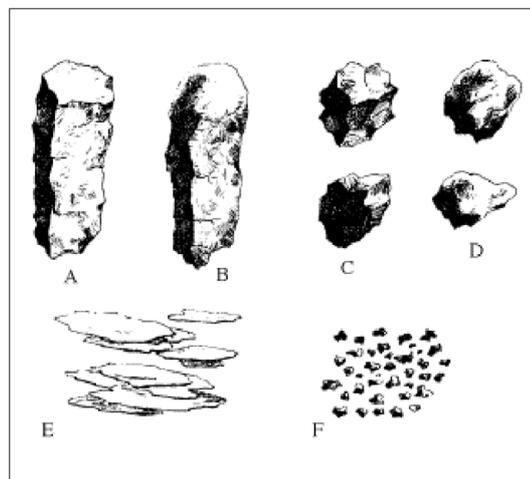


Fig. 6. Algunos de los tipos de estructura edáfica más comunes: A. prismática; B. columnar; C, en bloques angulares; D, en bloques subangulares; E, laminar; F, granular (Soil Survey Division Staff, 1993).

La estabilidad de la estructura va a depender de diversos parámetros como la textura, la materia orgánica, el pH, la presencia de óxidos de Fe, CaCO₃ y cationes, las variaciones en el grado de humedad, la acción humana y la actividad biológica. La im-

portancia de la estructura radica en que distribuye la porosidad del suelo, es decir, regula el tamaño y la cantidad de los poros existentes en el suelo y, por tanto, influye decisivamente en el comportamiento del agua en el suelo. Así, los poros que quedan entre los agregados estructurales o interpedales, de tamaño mayor a 30 μ , permiten el paso del agua a favor de la gravedad y la recarga subterránea, al tiempo que constituyen un reservorio de oxígeno muy necesario para la actividad de los microorganismos y para la actividad metabólica de las plantas. Por otro lado, los poros del interior de los agregados estructurales o intrapedales, de tamaño menor a 30 μ , tienden a retener agua y almacenarla para que pueda ser utilizada por las plantas a través de sus raíces. En un suelo siempre debe existir un equilibrio entre la macro y la microporosidad, de forma que si se destruye la estructura edáfica se está destruyendo también este equilibrio y, por tanto, las propiedades hídricas del suelo.

ORGANIZACIÓN DEL TALLER

De acuerdo con lo expuesto en apartados anteriores, el objetivo docente fundamental de este taller es transmitir al alumno la idea de lo que es un suelo, su importancia desde el punto de vista medioambiental y cómo se determinan de forma sencilla algunas de sus propiedades físicas en gabinete con el fin de inferir su comportamiento frente a aspectos tan importantes como la dinámica del agua o a procesos de contaminación. Igualmente, se muestra al alumno cómo las técnicas informáticas también pueden ser utilizadas para la enseñanza de aspectos relacionados con la edafología. De esta forma, se pretende que el alumno adquiera los conocimientos de forma razonada, con unos conocimientos teóricos previos, y los pueda aplicar utilizando técnicas prácticas e informáticas. Por todo ello, este taller contempla una serie de actividades:

- Introducir al alumno el concepto de suelo y su importancia en el contexto medioambiental. Explicar aquéllas propiedades físicas que lo caracterizan fundamentalmente y la relación entre ellas.

- Enseñar al alumno a reconocer la forma de agregados de suelo para su posterior clasificación dentro de las distintas clases de estructuras edáficas (granular, migajosa, laminar, en bloques, etc.).

- Mostrar al alumno cómo se realiza la determinación del color de distintos agregados edáficos en seco y en húmedo utilizando las tablas Munsell, con las que se pueden definir los parámetros de hue, value y croma.

- Explicar al alumno cómo se realiza la determinación cualitativa de las clases texturales mediante el humedecimiento de distintas muestras edáficas y posterior representación utilizando un diagrama triangular (arena, limo y arcilla) para clasificarlas.

- Iniciar al alumno en el establecimiento de los distintos horizontes de suelo a partir de estas propiedades físicas y otras características empleando un sencillo programa informático.

Estas actividades, a excepción del uso del ordenador, pueden ser también desarrolladas en el campo, donde los alumnos aprenden a reconocer los suelos, a describir sus características fundamentalmente macromorfológicas y a estudiarlos y relacionarlos con el paisaje y las condiciones ambientales existentes allí donde se encuentran. A ser posible, es aconsejable que el alumno sea también el encargado de muestrear en el campo aquéllos suelos que luego vaya a analizar en gabinete o en el laboratorio.

El espectacular avance de las tecnologías informáticas en estos últimos años ha supuesto que el ordenador se haya convertido en una herramienta muy útil que puede resultar muy eficaz para incorporarlo a los sistemas educativos empleados en todos los niveles de la enseñanza, desde la educación infantil a la universitaria. Esto beneficia en gran medida los procesos de enseñanza y aprendizaje, en especial si se cuenta con material de calidad y sistemas de autoevaluación para los alumnos. Asimismo, dado el uso cada vez más creciente de Internet, la docencia tradicional se puede beneficiar de las ventajas de lo que se puede denominar como la docencia online. La aplicación del ordenador al sistema educativo logra sus máximos resultados cuando el profesor puede diseñar sus propios programas, adaptándolos plenamente al programa educativo que imparte. Un ejemplo magnífico de este tipo de enseñanza aplicado a la Edafología se puede encontrar en los programas informáticos desarrollados por docentes del Departamento de Edafología y Química Agrícola de la Universidad de Granada, accesibles en la página de Internet <http://edafologia.ugr.es>. En concreto, en el desarrollo de este taller se utilizará el programa de morfología de suelos HORSOL, que cuenta con fotografías, rasgos macromorfológicos y datos analíticos de perfiles reales.

Está previsto que el número máximo de asistentes a este taller sea de 20 personas que se distribuirán en grupos de 4 ó 5 miembros. Se dispondrá de muestras de agregados edáficos y tierra fina de horizontes de distintos perfiles de suelos, de forma que a cada grupo se le asignará el estudio de unas muestras pertenecientes a un mismo perfil sobre las que podrán determinar el tipo de estructura, el color en seco y húmedo y su textura de forma cualitativa. Al estudiar muestras de un mismo perfil se pretende que el alumno pueda establecer las relaciones entre sus horizontes y que pueda observar cómo varían las propiedades físicas con la profundidad del suelo. Una vez terminado el estudio del perfil asignado, los grupos irán rotando hasta completar el estudio de todos los perfiles de suelo disponibles. Finalmente, se mostrará a todos los participantes el funcionamiento de programas informáticos como HORSOL, que permite al alumno distinguir de forma interactiva los distintos horizontes que conforman un perfil de suelo a partir de sus propiedades macromorfológicas.

El taller está dirigido a alumnos de primeros cursos de enseñanzas universitarias (Licenciaturas o Grados en Geología, Biología, Ciencias Ambienta-

les y Diplomatura o Grado en Magisterio) y a alumnos de Bachillerato, dentro de la modalidad de Ciencias de la Naturaleza y la Salud. Con esta práctica se pretende que los alumnos, especialmente los de cursos de bachillerato, reciban una primera y sencilla aproximación a la edafología que combine el trabajo práctico con el uso de la informática, estimulando la observación científica, el trabajo en equipo y también la participación individual.

BIBLIOGRAFÍA

Bigham, J. M., and E. J. Ciolkosz (eds.). (1993). Soil color. *Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ.* No. 31, 159 pp.

Buol, S. W., R. J. Southard, R. C. Graham, and P. A. McDaniel. (2003). *Soil Genesis and Classification*. 5th edition. Iowa State Press. 494 pp.

Birkeland, P. W. (1999). *Soils and Geomorphology*. 3rd edition. Oxford University Press, 430 pp.

Porta, J., M. López-Acevedo y C. Roquero. (2003). *Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente*. 3ª edición. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 929 pp.

Schaetzl, R., and S. Anderson. (2005). *Soils: Genesis and Geomorphology*. Cambridge University Press, 817 pp.

Soil Survey Division Staff. (1993). *Soil survey manual*. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18, 437 pp.

Soil Survey Staff. (1975). *Soil Taxonomy*. U. S. Department of Agriculture Handbook No. 436, 754 pp. ■

Fecha de recepción del original: 20 febrero 2008.

Fecha de aceptación definitiva: 29 mayo 2008.