

## **Tema 17. El suelo: origen, estructura y composición. La utilización del suelo. La contaminación del suelo. Métodos de análisis de suelos.**

1º Bach.: Bloque 4  
2º Bach. Ciencias de la Tierra y del medio ambiente. Bloque II. Tema 8: El suelo.

### **SUMARIO**

#### **17.1. El suelo**

##### **17.1.1. Origen y formación del suelo (Edafogénesis**

##### **17.1.2. Composición de los suelos**

##### **17.1.3. Acción de los seres vivos. Animales que se pueden encontrar en el suelo. (Edaphon)**

##### **17.1.4. Perfil del suelo**

##### **17.1.5. Propiedades de los suelos**

##### **17.1.6. Evolución edáfica**

#### **17.2. Clasificación somera de suelos (OPCIONAL)**

##### **17.2.1. Tipos de suelos más comunes**

##### **17.2.2. Los suelos de España**

#### **17.3. El uso del suelo**

#### **17.4. La contaminación del suelo**

##### **17.4.1. Residuos sólidos.**

##### **17.4.2. La gestión de los residuos en España**

#### **17.5. Análisis de suelos**

### **17.1. El suelo**

Los procesos de alteración mecánica y meteorización química e las rocas determinan la formación de un manto de alteración o eluvión que, cuando por la acción de los mecanismos de transporte de laderas es desplazado de su posición de origen, se denomina **coluvión o regolito**.

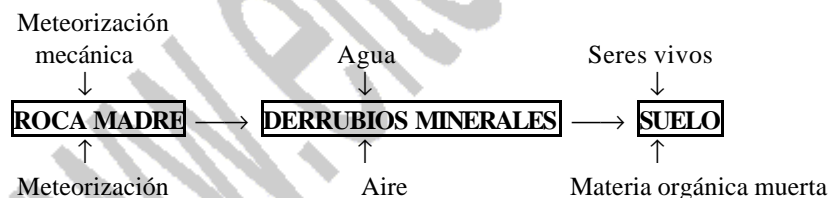
La existencia de coluviones es generalizada en la mayor parte de los dominios morfoclimáticos con destacada excepción del árido; en el que la limitada eficacia de la meteorización química, la falta o escasez de cobertura vegetal y la intensidad de la escorrentía superficial provocada por las violentas tormentas propias de esas regiones determinan la inestabilidad de las acumulaciones superficiales de regolitos. Sobre los materiales regolíticos del coluvión y también en los depósitos recientes y formaciones superficiales (como, por ejemplo, las terrazas fluviales) puede desarrollarse lo que se conoce como **suelo** en sentido científico estricto. En esta acepción, el suelo es el resultado de la dinámica física, química y biológica de los materiales alterados del coluvión y de las formaciones superficiales, originándose en su seno una diferenciación vertical en niveles horizontales u horizontes. En estos procesos, los de carácter biológico y bioquímico llegan a adquirir una gran importancia y resultan de la descomposición de los restos vegetales caídos sobre la superficie del terreno, de la propia presencia en el mismo de las raíces de las plantas y los productos químicos del metabolismo, y de las acciones de todo tipo que ejercen multitud de microorganismos y animales zapadores. Por este motivo, el suelo no es una entidad estrictamente geológica, sino que en su génesis y desarrollo intervienen mecanismos de naturaleza biológica y bioquímica, de forma que la ciencia especializada que lo estudia, la **Edafología o Pedología**, está vinculada tanto a la Geología como a la Biología y a la Agronomía.

Además, el estudio de los paleosuelos o suelos fósiles que aparecen intercalados entre estratos de rocas sedimentarias de épocas pasadas tiene una gran importancia en la Geología Histórica, ya que sirven como indicadores del clima y de otros factores ambientales de dichas épocas.

#### **17.1.1. Origen y formación del suelo (Edafogénesis)**

Las etapas implicadas en la formación del suelo o edafogénesis son:

Disgregación mecánica de las rocas, Meteorización química e instalación de los seres vivos sobre el sustrato inorgánico.



Se pueden diferenciar **suelos autóctonos** formados a partir de la roca "in situ" y **suelos alóctonos** provenientes de lugares a veces muy lejanos, se desarrollan sobre depósitos y formaciones superficiales (terrazas fluviales, morrenas,...). El proceso de edafogénesis comienza superficialmente y continúa progresando en profundidad. A veces el proceso se inicia en condiciones difíciles (crecimiento de líquenes).

Paralelamente a la alteración física, química y biológica se va produciendo una ordenación de los materiales en capas más o menos diferenciadas. Ocurre porque, por un lado, los efectos de la meteorización se dejan sentir en menor grado a medida que aumenta la profundidad hasta alcanzar la roca inalterada donde termina el suelo, y, por otro lado, porque en la parte superficial se desarrollan organismos cuyos productos metabólicos y restos se incorporan también al suelo. De esta forma en la parte superior, donde la meteorización habrá sido completa, se encontraran minerales estables (cuarzo) residuos de la meteorización, y material orgánico; hacia abajo se encontrarán fragmentos de rocas cada vez menos alterados, además de los productos que hayan llegado emigrados de la parte superior. Al mismo tiempo van desapareciendo las manifestaciones de la actividad orgánica.

Así va progresando la formación del suelo, que queda constituido como un ente dinámico, donde continúa una intensa actividad física, química y biológica.

En la velocidad de la edafogénesis y en el tipo de suelo que se forma, así como en la profundidad que alcanza, intervienen una serie de factores. Los factores formadores o edafogénéticos del desarrollo y evolución de los suelos son:

**a) Material parental o roca madre,**

En cuanto a que una vez meteorizada va a constituir el soporte físico del suelo. Su compacidad, así como su composición mineralógica depende de los constituyentes esenciales de los minerales arcillosos que se liberan por meteorización de la roca madre. La textura del propio material parental condiciona la del suelo resultante. No obstante, éste no es el factor más importante, ya que el mismo tipo de roca puede originar suelos diferentes y viceversa, según como actúen los otros factores, especialmente el clima.

Son aptas para la formación de suelo vegetal rocas fácilmente meteorizables (margas, areniscas, pizarras y basaltos); sin embargo, los pórfidos y las calizas son poco adecuados.

**b) Clima.**

Éste es el factor más importante en el desarrollo de los suelos, habiéndose demostrado en Rusia la correlación entre tipo de suelo y clima. Los factores climáticos más influyentes son la  $t^a$  y la humedad (determinada, a su vez, por la pluviosidad y por la evaporación).

En la mayor parte de las reacciones químicas interviene el agua, por lo que su presencia es fundamental siendo, además, el medio de transporte de sustancias a través del suelo y de distribución de distintos minerales. La humedad, como sabemos, depende de la relación entre precipitación y evaporación y del sistema de drenaje de la zona. En regiones de clima cálido y húmedo, la meteorización es intensa y son suelos ricos en Al y Fe (**suelos pedalfer**). Si son escasas las precipitaciones y la evaporación es intensa, el agua sube por capilaridad y deposita sales al evaporarse en la superficie (**suelos pedocal**).

Las elevadas  $t^a$  favorecen la formación de suelos; por el contrario las bajas retardan y paralizan las reacciones químicas y, por tanto, la formación del suelo. Además en climas templado húmedos se desarrollan abundantes organismos vivos y sus restos se degradan pronto por la intensa acción bacteriana, con lo que se forman ácidos orgánicos, que contribuyen a la descomposición química de las rocas.

**c) Actividad orgánica.**

La importancia de organismos, sobre todo vegetales, es decisiva. Las plantas, además de contribuir a la degradación mecánica con sus raíces, toman sales minerales del suelo. Al morir las plantas estas sales vuelven al suelo, pero a distinto nivel. Además su materia orgánica se acumula descomponiéndose por oxidación lenta, formando **humus** y **ácidos húmicos**. La intensa actividad bacteriana en las zonas cálidas, determina la descomposición de la materia orgánica sin que llegue a formar humus; además aquella se incrementa con los restos de animales y vegetales, y los excrementos.

La materia orgánica muerta y en proceso de descomposición del suelo constituye el humus; dicha materia se va oxidando lentamente (humificación), formando ácidos que contribuyen a la descomposición de los minerales, tiñen el suelo de color pardo o negro y sus partículas coloidales (arcillas) retienen los iones del suelo. La cantidad de humus está influida por la  $t^a$ . En climas fríos, la velocidad de acumulación de restos vegetales es mayor que la de su descomposición; éstos se acumulan y hay poco humus; si la  $t^a$  media anual es superior a los 25 °C, la destrucción bacteriana del humus supera a la acumulación de restos orgánicos y también hay poco humus.

**d) El tiempo**

Su influencia varía ampliamente de unos casos a otros, pero se trata siempre de un proceso lento; puede durar del orden de 200 años en un clima húmedo, siendo lo normal varios millares. Son más rápidos los procesos relacionados con la acumulación de materia orgánica. Con respecto a este factor se habla de:

- **Suelos maduros**, cuando los procesos edafogénéticos han podido actuar el tiempo suficiente como para haber desarrollado un perfil de equilibrio con las condiciones ambientales.
- **Suelos jóvenes o brutos**, son los que tienen todavía poco o nada desarrollados los horizontes característicos del suelo y que evolucionan buscando un equilibrio (clímax). Esto ocurre en los suelos que se forman sobre formaciones aluviales o glaciares recientes.

### e) Topografía.

Controla la distribución de suelos en un paisaje, como consecuencia de los microclimas que se crean en las laderas de distinta orientación, la diferente erosionabilidad de las laderas en función del ángulo de pendiente y la influencia de la posición de la superficie freática libre. En las pendientes siempre se forman suelos delgados. Los suelos se desarrollan mejor y alcanzan mayor espesor cuanto menor es la pendiente. La orientación con respecto al sol también influye; los suelos orientados al norte (umbría) son más fríos y conservan más tiempo la humedad, mientras que los que están orientados hacia el sur (solana) son más templados y secos y presentan una mayor variedad de vegetación.

### 7.1.2. Composición de los suelos

Los constituyentes del suelo son tanto sustancias sólidas, como líquidas y gaseosas. Entre los constituyentes **sólidos** destacan los siguientes minerales:

- **Silicatos**, singularmente los minerales arcillosos (caolinita, illita, montmorillonita, etc.).
- **Oxidos e hidróxidos de Hierro** (Hematites, limonita y goetita), y de aluminio (gibbsite y bohemita).
- **Clastos y granos poliminerale**s, como materiales residuales de la alteración mecánica y química de la roca originaria.
- Otros **diversos compuestos** minerales, carbonatos (calcita, dolomita), sulfatos (yeso), cloruros, nitratos, etc.

Unos son residuos insolubles de minerales estables que formaban parte de la roca madre, otros se han formado por reacciones con el agua (arcillas) o con el oxígeno (óxidos de Fe, de Al).

Este conjunto de constituyentes representa el esqueleto mineral del suelo. Por su parte, los constituyentes sólidos de naturaleza orgánica incluyen al conjunto de seres vivos que habitan en el suelo y sus restos. Estas sustancias originan, en combinación con los minerales arcillosos del suelo los denominados complejos órgano-minerales.

La materia orgánica muerta sobre la superficie del suelo constituye en conjunto el llamado **mantillo o humus**. No suele superar el 5 % en peso total de la materia inerte (puede representar hasta un 12 % en volumen) y va disminuyendo su proporción en profundidad, al aumentar la  $t^\circ$  y al disminuir la pluviosidad anual.

Se pueden distinguir tres tipos de humus

Características	Humus mor (Bruto)	Humus Mull elaborado	Humus Moder (ácido)
Composición	Restos sin descomponer totalmente. Hojarasca poco mezclada con parte mineral	Mat. orgánica descompuesta y unida con la parte mineral. Casi sin hojarasca.	Restos orgánicos más o menos descompuestos. Mezcla incompleta
Contenido en $N_2$	Poco. Relación C/N >20	Mucho. Relación C/N <15	Intermedio $20 < C/N > 15$
Disponibilidad de nutrientes	Lavado en profundidad, suelos poco fértiles	Acumulación en superficie. Suelos fértiles.	Pocos nutrientes. Poco fértiles
Formación	Acción de hongos. Transforma. biológica débil	Acción de Bacterias y lombrices. Trans. bio. fuerte	Acción de Bacterias, hongos y artrópodos. Trans. bio. fuerte
Situación	Climas fríos	Climas cálido-templados	Climas templado-fríos
Mineralización	Lenta	Rápida	Media

La **fase líquida** está formada por una disolución coloidal y acuosa de las sales más comunes de los iones de  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{--}$ ,  $HCO_3^-$ . En esta fase tienen lugar las reacciones base de la evolución del suelo.

La **fase gaseosa** está constituida fundamentalmente por los gases atmosféricos y los productos resultantes de la actividad química y biológica.

### 17.1.3. Acción de los seres vivos. Animales que se pueden encontrar en el suelo. (Edaphon)

El estudio del suelo y de las relaciones entre el ambiente fisicoquímico y los organismos que lo colonizan tiene una prolongada tradición. Ya **Darwin** escribió un célebre ensayo acerca del suelo, y sus observaciones sobre las lombrices constituyen un valioso ejemplo de la influencia de los componentes biológicos en la evolución de los suelos. Los estudios posteriores han tratado de censar las especies vegetales y animales, numerosísimas y complejas sistemáticas, como es, por ejemplo, el caso de los Nemátodos. Sólo recientemente se han afrontado los problemas de la producción biológica (cómo se reproducen los organismos del suelo, sus preferencias alimentarias, su microdistribución en los horizontes) con distintas ramas de investigación.

La Edafología biológica data de 1951, con la obra de Delamare-Deboutville, que aborda con rigor el estudio de las interacciones entre los seres vivos y el suelo. Esta ciencia está llamada a proporcionar metodologías válidas para el estudio de las variaciones ambientales y la prevención de las modificaciones irreversibles del suelo.

Entre los principales seres vivos que podemos encontrar en los suelos destacamos los siguientes:

- Virus del tipo bacteriófagos y otros productores de plagas en los vegetales.
- Bacterias quimiosintéticas, saprofíticas, etc. de gran importancia como descomponedores y desintegradores en el ciclo de la materia.
- Hongos, de gran importancia sobre todo los saprofíticos por contribuir en el proceso formador de humus.
- Las plantas superiores que, disgregan el suelo y aumentan la fracción orgánica del mismo.

Entre los animales cabe destacar:

- Protozoos depredadores de bacterias.
- Nemátodos que suelen ser vectores de virus.
- Anélidos que mezclan y remueven la tierra (Ej. la lombriz de tierra).
- Crustáceos isópodos, hormigas, escolopendras, etc.
- Larvas de artrópodos que airean al suelo, y transforman la materia orgánica en descomposición, de la que algunos se alimentan.
- Pequeños y grandes mamíferos en suelos forestales y de pradera.

Tanto animales como vegetales tienen una gran influencia en el desarrollo del suelo, si bien son los últimos los que influyen de forma más decisiva y en los que cabe distinguir, las plantas superiores que se asientan sobre el suelo y los microorganismos que viven en él (microflora). El papel edafogenético de la vegetación no se puede estudiar sin comprender previamente que clima, vegetación y suelo son entidades interdependientes. Las plantas contribuyen a mantener la fertilidad del suelo, por otra parte, la vegetación es la principal fuente de humus y de ácidos orgánicos.

Un papel significativo es el jugado por la microflora (bacterias y hongos). Así en los climas fríos, el limitado y lento desarrollo de estos, disminuye el consumo de humus y la materia orgánica se puede acumular. En los climas cálidos, por el contrario, el humus elaborado es muy escaso, ya que la materia orgánica es rápidamente oxidada por las bacterias.

#### **17.1.4. Perfil del suelo**

Los materiales del suelo tienden a distribuirse en capas más o menos paralelas a la superficie. En la zona superior se acumulan los restos orgánicos y minerales residuales. El paso del agua con ácidos orgánicos provoca la **lixiviación** o lavado de álcalis y de complejos aniónicos de C, P, N y S.

Se denominan **horizontes** del suelo a una serie de niveles horizontales que se desarrollan en el seno del mismo y que presentan cada uno de ellos caracteres distintivos de composición, textura (granulometría), consistencia, y características biológicas. El **perfil** del suelo es la ordenación vertical de todos esos horizontes hasta el material parental o roca madre sobre la que están establecidos.

Para establecer los horizontes detallados de un perfil hay que estudiar sus caracteres distintivos por medio del análisis del color, textura, pH, etc. El color oscuro se asocia con el contenido en humus, el rojo con la presencia de FeO, el anaranjado al FeO(OH), los colores blanquecinos pueden indicar la presencia de sales, etc. El pH está relacionado, sobre todo, con la actividad de las partículas coloidales en el intercambio iónico entre el suelo y las plantas.

Clásicamente, se distinguen en los suelos completos o evolucionados tres horizontes fundamentales, que desde la superficie hacia abajo son:

**Horizonte A** o zona de lavado vertical o **eluvación**. Es el más superficial; está constituido por arena y arcilla y en él enraiza la vegetación herbácea. Es el horizonte más meteorizado y rico en humus, puede alcanzar unos 60 cm de espesor; a veces se pueden distinguir tres subhorizontes:

- A<sub>1</sub>, con organismos muertos no alterados. Otras clasificaciones los denominan O<sub>1</sub> ó A<sub>oo</sub>.
- A<sub>2</sub>, de fermentación de sustancias orgánicas. También llamado O<sub>2</sub> ó A<sub>o</sub>. Presenta color oscuro.
- A<sub>3</sub>, de la humificación. Para otros A<sub>1</sub>. Color pardo oscuro, constituye el primer horizonte mineral.
- A<sub>4</sub>, de decoloración o blanqueado. También llamado A<sub>2</sub>, contiene poca materia orgánica, poca arcilla y presenta un color gris ceniza. Constituye un nivel de lavado.

**Horizonte B** o zona de precipitación o **iluvación**. Contiene más arcilla y arena que el horizonte A, puede alcanzar hasta 1 m de espesor. Es la capa intermedia y con menos humus, por lo que suele presentar un color más claro y en él los materiales arrastrados desde arriba por eluvación son depositados en el perfil, principalmente sustancias coloidales, materiales arcillosos, óxidos e hidróxidos metálicos, carbonatos, etc., situándose en este horizonte la formación de los encostramientos calcáreos áridos y las corazas lateríticas tropicales. Puede contener materiales procedentes de la fragmentación de la roca madre.

**Horizonte C** Esta compuesto por fragmentos de la roca madre más o menos alterados, sin humus, donde las aguas penetran y adonde difícilmente llegan las raíces y los gases atmosféricos. Su espesor varía de unos metros hasta más de 60 m, estando más desarrollado en climas cálidos y húmedos. Puede diferenciarse en:

- C<sub>1</sub>, formado por roca madre descompuesta con intercalaciones ó infiltraciones de horizontes superiores.
- C<sub>2</sub>, en el que la roca madre se presenta desintegrada.

**Horizonte D o R.** Es la roca madre inalterada por lo que más que pertenecer al suelo, marca su límite.

#### **17.1.5. Propiedades de los suelos**

Se suele afirmar que las características físicas del suelo conforman su armazón o esqueleto, sirviendo de sujeción a las plantas, y que las propiedades químicas les proporcionan su alimento, y por tanto configuran su fertilidad. En realidad ambos grupos de características están íntimamente relacionados, y el crecimiento y normal desarrollo de la vegetación depende de todas ellas ligadas entre sí.

##### **A. Propiedades físicas**

- **Textura.** También llamada composición granulométrica, es el % de materiales según su tamaño (arena gruesa entre 2 – 0,2 mm; arena fina, 0,2 0,02; limo, 0,02 – 0,002, y arcilla <0,002). Los materiales > 2mm son gravillas, gravas o piedras (cantos, guijarros, etc.), que detienen la ascensión capilar del agua, impidiendo la excesiva evaporación, y disminuyendo la cohesión del suelo, por lo que tendrá mejor aireación y drenaje y será más fácil de trabajar. Hay tres tipos de textura (Arenosa, limosa y arcillosa). Los suelos que poseen fracciones gruesas y finas en proporciones adecuadas tendrán una textura equilibrada y el suelo será ligero, aireado y permeable, con mediana capacidad de retención del agua y rico en elementos nutritivos (suelo franco, su textura sería limo-arcillosa-arenosa). Para clasificar los suelos por su textura se acude a diagramas triangulares con distintos % de arcilla, limo y arena.
- **Estructura.** Es la disposición y estado de agregación o cohesión de los componentes edáficos sólidos. Depende de los coloides del suelo: Si están floculados (carga eléctrica neutralizada), actúan como cemento y dan una **estructura estable**. Si están dispersos los coloides, los granos del suelo carecen de agregación y dan una **estructura particular**. La estructura influye en el drenaje, contenido en gases y lavado de nutrientes.

Dos características nos permiten evaluar el tipo y estabilidad de la estructura:



- **Porosidad.** Es el volumen de espacios vacíos del suelo, expresado en %. Oscila entre el 30 y 60 %. Según el tamaño de los poros hablamos de: una macroporosidad o porosidad no capilar ( $\varnothing$  de los poros  $> 8\mu$ ) o de microporosidad o porosidad capilar ( $\varnothing$  de capilar los poros  $< 8\mu$ ). La porosidad total es la suma de ambas.
- **Permeabilidad:** es la velocidad de infiltración del agua en el suelo saturado. Se produce por gravedad. Aumenta con los huecos y con el contenido en materia orgánica. Los suelos de estructura estable son permeables, los de estructura particular son poco permeables.
- **Humedad edáfica (pF).** Se puede establecer un balance hídrico en el suelo como la suma algebraica de las ganancias y pérdidas en un periodo determinado:  
**Reserva de agua** =  $R_i + P - D - E - E_v$ ; en donde  $R_i$  = reserva inicial de agua,  $P$  = precipitaciones;  $D$  = drenaje (percolación en profundidad);  $E$  = Escorrentía (arrastré superficial) y  $E_v$  = evaporación. De esta reserva de agua la parte extraíble por la vegetación se llama reserva útil (RU) y el resto Reserva utilizable. Las fuerzas que provocan la movilidad del agua son: gravitacionales y matriciales (adsorción y capilares, actúan en los microporos).  
**Las fuerzas matriciales** retienen el agua en el suelo y para extraerla hay que ejercer presión potencial matricial o pF, que varía entre 0 y 7. El agua gravitacional tiene un  $pF < 2,5$ ; el agua de capacidad de campo tiene un  $pF = 2,5$  (1/3 de atmósfera); y el agua del punto de marchitamiento tiene un  $pF = 4,2$  (15 atmósferas).  $pF\ 2,5 < \text{Agua útil} < pF\ 4,2$

## B. Propiedades químicas

- **Acidez del suelo (pH).** Según el valor del pH los suelos se clasifican en ácidos ( $pH < 5$ ), ligeramente ácidos ( $pH = 5 - 6$ ); Neutros ( $pH = 7$ ) y Alcalinos ( $pH > 7$ ). Esta acidez se llama actual, pero conviene diferenciarla de la **acidez potencial** (es la que hay que tomar en consideración), en la cual hay que contabilizar además los  $H^+$  libres, los que acompañan al complejo absorbente. El pH influye en la movilidad de los nutrientes y en la afinidad de los distintos tipos de vegetación.
- **Capacidad de intercambio de iones.** La mayoría de los nutrientes (excepto el C y el O) son absorbidos por los pelos radicales de las raíces, a partir de las formas minerales del suelo. Los nutrientes se pueden encontrar en el suelo en cuatro situaciones:
  - **Disueltos en el agua del suelo.** Las plantas los absorben directamente.
  - **Absorbidos en el complejo de cambio** (complejo absorbente), es decir fijos a la superficie de los coloides del suelo (arcilla y humus). Así se encuentran el  $Ca^{++}$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{++}$ ; y algunos aniones (como el  $H_2PO_4$ ) que son liberados progresivamente a la solución del suelo mediante el intercambio de iones.
  - **Fijos en el suelo.** Son minerales inalterados, ricos en cationes, insolubles por lo que no pueden ser absorbidos. Pero a medida que se van alterando van pasando al complejo de cambio, pudiéndose asimilar.
  - **En forma orgánica** (principios inmediatos), constituyen el humus, no pueden ser absorbidos, necesitando mineralizarse por acción de los descomponedores.
- **Factores que influyen en la absorción de nutrientes:**
  - **Exógenos:**  $T^a$  ( el aumento de  $t^a$  incrementa los procesos de absorción hasta una  $t^a$  límite que inactiva a los enzimas), Luz (al abrirse los estomas facilitan la transpiración, e indirectamente la absorción de agua); Oxígeno (su falta inhibe la absorción salina).
  - **Endógenos:** pH ( a pH ácido se absorben mejor los aniones y a pH básico los cationes); Antagonismo (El exceso de ión puede perjudicar la absorción de otro, por ejemplo el  $K^+$  y el  $Mg^{++}$ , inhiben la absorción de  $Ca^{++}$ ), y capacidad de cambio (si faltan los coloides).

### 17.1.6. Evolución edáfica

Hemos descrito por separado los factores que influyen en la formación del suelo; sin embargo, la evolución del suelo se realiza bajo la acción conjunta de todos ellos, siendo, como ya dijimos, el clima el factor más decisivo. Por eso se han establecido unos regímenes que condicionan la formación de los suelos de acuerdo a las condiciones climáticas. así tenemos los siguientes regímenes:

**Régimen de podzolización.** Bajo un clima frío y húmedo el suelo permanece con agua incluso durante el corto verano; el humus se acumula en el horizonte A, debido a la escasa actividad bacteriana; este horizonte resulta muy lixiviado, quedando empobrecido en cationes, óxidos de Fe y Al, minerales arcillosos

y coloides del humus; los cationes son arrastrados por las aguas subterráneas, mientras que los minerales arcillosos, los coloides orgánicos y los óxidos de Fe y Al quedan en la parte más profunda del suelo, que resulta dura y densa (horizonte B).

**Régimen de laterización.** Bajo clima cálido y húmedo, la intensa actividad bacteriana destruye los restos vegetales tan rápidamente como se acumulan, de manera que apenas hay humus en el suelo. La sílice es arrastrada en disolución, así como las bases, resultando suelos poco fértiles y sin horizontes; quedando en el suelo arcillas y óxidos e hidróxidos de Al y Fe.

**Régimen de calcificación.** Se da bajo climas con una estación seca y otra húmeda, excediendo la tasa de evaporación a la de las precipitaciones. La vegetación típica es herbácea, siendo escasa la actividad bacteriana; el humus se distribuye en los horizontes A y B, dependiendo su abundancia de la mayor o menor aridez del clima; las bases no son arrastradas y durante los períodos secos se depositaron en el horizonte B nódulos y costras de  $\text{CaCO}_3$ . Este régimen es propio de estepas y subdesiertos; corresponde a los suelos chernozem.

**Régimen de gleificación.** En regiones de clima frío y húmedo, con mal drenaje, la actividad bacteriana es escasa, lo que permite la acumulación de restos vegetales sin descomponer, formándose turberas; por debajo, se encuentra arcilla, generalmente empapada de agua, por lo que el Fe se encuentra parcialmente reducido, lo que le confiere un color gris-azulado (horizonte gley).

**Régimen de salinización.** En climas desérticos y con mal drenaje, las escasas precipitaciones disuelven sales al discurrir por las pendientes; cuando dichas aguas quedan encharcadas y se evaporan las sales precipitan, siendo las más comunes sulfatos y cloruros de Ca y Na.

### **17.2. Clasificación somera de suelos (OPCIONAL)**

Los suelos pueden clasificarse de distintas formas atendiendo a criterios diversos, como son: su génesis, los ambientes climáticos de que son propios, su textura, la composición mineral, etc.

Una de las clasificaciones más usada se basa fundamentalmente en el perfil del suelo condicionado, como se ha visto, sobre todo por el clima, son los llamados **suelos zonales**. Se atiende generalmente a una doble visión: zonalidad climática y, dentro de cada zona, grado de evolución. Los suelos zonales comprenden a los suelos maduros por la prolongada acción del clima y de la vegetación en condiciones de buen drenaje. Son los suelos más importantes para la agricultura.

Siguiendo este estricto criterio los suelos pueden clasificarse del siguiente modo:

#### **a) Suelos de altas latitudes.**

También denominados suelos de **tundra**, y proceden de materiales parentales diversos cuyos caracteres petrográficos pueden deducirse del estudio de la composición mineralógica de estos suelos. Los procesos que degradan la roca madre hasta transformarla en la fracción mineral del suelo son lentos y limitados a los períodos estivales, en los que en estas regiones pueden darse oscilaciones térmicas alrededor de los  $0^\circ \text{C}$  y, por tanto, fenómenos de macro y microgelivación. La vegetación es muy pobre y escasa, reducida a musgos y líquenes. Tienen una parte muy delgada desarrollada (**mollisuelo**), y otra parte congelada (**permafrost**).

#### **b) Suelos de latitudes medias** (climas fríos). Se incluyen tres tipos fundamentales:

**b.1. Podsoles (Spodosols), tierras grises o de ceniza.** Reciben este nombre debido a la presencia de un horizonte ceniciento de iluviación de arcillas bajo la superficie del terreno. Se distribuyen en un cinturón circumpolar y en las zonas montañosas de las latitudes templadas, originándose en muchos casos sobre depósitos glaciares y fluvio-glaciares pleistocénicos o formaciones periglaciares, y afectando a una amplia gama de material parental. La vegetación a la que característicamente están asociados es de brezos y coníferas (**taiga**). El humus es abundante, pero poco elaborado y además de carácter ácido, que actúa sobre las arcillas y facilita su lavado vertical desde el horizonte superior hasta el de iluviación, por lo que en superficie suelen ser muy arenosos.



**b.2. Tierras pardas forestales:** Son típicas de climas más suaves con vegetación de bosque caducifolio. Ricos en humus, poseen un horizonte B de escaso espesor. Al igual que los podsoles, se generan mediante un activo lavado vertical de su perfil. Tienen poco humus en el horizonte A debido a la intensa actividad bacteriana.

**b.3. Suelos grises (alfisols):** Se forman en un ambiente más continental que los anteriores, situándose entre la zona de los podsoles y la de los chernozems, asociados a la vegetación de tránsito entre el bosque caduco y la estepa. El color gris se debe a la pulverización de los granos de sílice que quedan en el horizonte B. Están muy extendidos en Europa occidental, en zonas marítimas o de clima continental húmedo.

### c) Suelos de latitudes medias (climas templados y cálidos)

**c.1. Suelos mediterráneos.** En estos suelos, un factor fundamental de su desarrollo es la duración de la sequía estival, que determinan la formación de varios subtipos diferentes:

- Sequía estival de un mes. Predominio del lavado. **Tierras pardas**, adecuados para el cultivo de cereales.
- Ferratización ligera  $\Rightarrow$  Suelos **pardos mediterráneos**, que por erosión dan lugar a los suelos **rojos mediterráneos** y "**terra rossa**", adecuados para olivos y viñas.
- La "**terra rossa**" es un tipo especial de suelo podzol amarillo-rojizo propio de climas mediterráneos, asociado en ocasiones a roca madre caliza; presenta horizontes mal diferenciados y tiene abundante  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , que le confiere el color rojizo; es pobre en humus, quizás por la deforestación provocada por el hombre.
- Sequía estival de 5 - 6 meses. El proceso predominante es la calcificación, dando los **suelos canela**. Están asociados al bosque mediterráneo de encinares y a la vegetación arbustiva de garriga propios de estos climas. Son de destacar especialmente los suelos pardos mediterráneos, con un horizonte A enriquecido en materia orgánica, y los suelos rojos mediterráneos y terra rossa, pobres en humus y formados a expensas de la arcilla de decalcificación de las calizas, tan abundantes en las regiones mediterráneas del globo.

**c.2. Chernozems:** Son las llamadas **tierras negras**, típicas de las estepas de Rusia meridional y Europa oriental, de acentuada continentalidad, con los inviernos muy fríos y veranos cortos pero calurosos. En algunos casos están desarrollados sobre loess o material detrítico fino de características similares, y en el nivel A se produce una intensa acumulación de humus, carbonatos y óxidos de hierro, careciendo de horizonte B. Dentro de los Chernozems se pueden distinguir distintos tipos, todos ellos muy fértiles. Muy adecuados para el cultivo de cereales; ocupan grandes extensiones de USA, Argentina, etc., consideradas como graneros del mundo.

**c.3. Suelos desérticos:** Son suelos poco evolucionados, desarrollados en los derrubios de minerales resultantes de la alteración mecánica de la roca madre. Se caracterizan en ocasiones por presentar eflorescencias superficiales salinas. Asociados a vegetación escasa y dispersa, su contenido en materia orgánica es muy bajo.

En ambientes subdesérticos se puede formar un suelo llamado **caliche** (Canarias) con poco humus y mucho carbonato cálcico que, a veces, forma costras superficiales que lo hacen imposible para el cultivo.

### d) Suelos de latitudes intertropicales.

Se caracterizan por una intensa meteorización química que origina suelos de enormes espesores. Asociados a vegetación de selva húmeda, son suelos muy lavados con pH neutro o ácido donde la sílice se solubiliza, quedando los óxidos de Fe y Al en el perfil del suelo, lo que les confiere típicas tonalidades rojizas.

Dentro de estos suelos se distinguen como tipos más conocidos los llamados ferralíticos (**lateritas u oxisols**), en los que falta el horizonte A, es decir, carecen de humus. Su horizonte B es muy rico en hidróxidos de Fe y Al, constituyendo una coraza rojiza que puede adquirir una gran consistencia y dureza, y que es una de las fuentes más ricas para la obtención del Aluminio. Sobre ellos se desarrollan las selvas tropicales.

**e) Suelos azonales e intrazonales.**

Son aquellos en que el factor formador predominante no es el clima, sino que pueden desarrollarse en condiciones climáticas relativamente diversas. Los intrazonales son salinos o acuáticos (pantanosos), los azonales son inmaduros por falta de tiempo o exceso de pendiente (litosuelos).

**e.1. Suelos condicionados por la roca madre.** Destacan especialmente los originados sobre calizas, llamados calcimorfos. Son suelos con diferenciación de horizontes poco marcada, poco espesor, escasa humedad y gran riqueza en bases. Los dos tipos principales son la **redzina**, de color oscuro y sin horizonte B, y los suelos **pardos calcáreos**, con horizonte B desarrollado y mayor reserva de agua. Sobre rocas silíceas, granitos y gneises fundamentalmente, los litosuelos más frecuentes son los **ranker**, que equivalen a las redzinas de las regiones calizas, careciendo al igual que ellos de horizonte B y presentando también un carácter de suelos muy poco evolucionados.

**e.2. Suelos condicionados por el drenaje** (también llamados **Intrazonales**). Los suelos que tienen tendencia al encharcamiento y a la saturación de agua presentan características especiales, recibiendo el nombre genérico de **suelos hidromorfos**. De ellos los más típicos son los suelos gley, que poseen unos horizontes superiores ricos en humus, y los inferiores, permanentemente empapados, donde se acumula Fe que, debido a la ausencia de la fase gaseosa y, consiguientemente de oxígeno, se encuentran en estado reducido, dando lugar a coloraciones grisáceas y verdosas características. Originan los suelos de turbera, con una vegetación muy densa de musgos, juncos y alguna planta herbácea que le proporciona un exceso de materia orgánica y un fuerte carácter ácido.

**e.3. Suelos condicionados por la presencia de sales.** Se llama **halomorfos o salinos**, tienen un alto contenido en sales, que pueden provenir de la roca madre o haber sido aportados del exterior. Se dan en climas áridos en los que la humedad no es suficiente para arrastrar las sales en disolución mediante lavado vertical o escorrentía superficial. Su carácter salino dificulta la existencia de vegetación y, por lo tanto, la formación de humus, pudiéndose diferenciar distintas variedades según el tipo de sal presente en los mismos.

La clasificación de suelos es un asunto bastante debatido entre los especialistas. La "Soil Survey Staff", de USA, en 1965 estableció una clasificación muy ajustada, en diez órdenes (ver fotocopia adjunta), teniendo en cuenta aspectos tales como: su composición global, grado de zonación de sus horizontes, presencia o ausencia de alguno de ellos, grado de meteorización de los minerales (sobre todo de los genéticos), etc.

(Consultar el final del Tema)

**17.2.1. Tipos de suelos más comunes**

Los suelos reales no siempre tienen bien desarrollados todos los horizontes. En muchos casos falta alguno o aparecen hipertrofiados otros. Los suelos más comunes son los ACR y los ABCR. Los ACR están poco desarrollados, por lo que se les suele llamar **litosuelos**, como por ejemplo los **ranker** (rocas silicatadas con pH neutro o ácido) o **redzina**, originados en rocas carbonatadas con pH básico.

Los suelos más evolucionados son los de tipo ABCR. Los diferentes tipos de suelos de esta clase, tienen presente la naturaleza del horizonte B.

Así si B, es de alteración: **tierras pardas calcáreas** (restos carbonatados sobre calizas, margas, etc., con pH básico) o **tierras pardas ácidas** (sobre areniscas y calizas en climas lluviosos, están bastante evolucionados).

Si el horizonte B es arcilloso: suelos lixiviados, **pardos mediterráneos** y **rojos mediterráneos** (más bien suelos inactivos, sin que se detecte acumulación de arcilla).

Si el horizonte B presenta humus o sesquióxidos forma suelos muy ácidos (suelos podzólicos y **podzoles**).

**17.2.2. Los suelos de España**

Según el tipo de rocas del sustrato, se distinguen:

- a) **Suelos silíceos.** Cubren la mayor parte de España Occidental (Galicia, León, Zamora, Salamanca, Extremadura), con profundas penetraciones en el Sistema Central y Sierra Morena, y algunas porciones separadas de los Pirineos; la Costa Brava y el Sistema Ibérico. En estos suelos se encuentran representaciones del ranker (Sierra Nevada y Sierra de Gata), tierras pardas (en las zonas más bajas que rodean a la sierra de Guadarrama o a los Pirineos) y podzoles en zonas montañosas de Galicia, y en ellas se dan coníferas y brezos.
- b) **Suelos calizos húmedos.** Redzinas, que debido a su continuo lavado se descalcifican transformándose en limos pardos o tierra fusca como ocurre en el Pirineo, y en las zonas lluviosas de Santander y Asturias.
- c) **Suelos calizos secos.** La falta de agua es el factor dominante en la formación del suelo. En las costas mediterráneas, Baleares, valle del Ebro y algunas porciones castellanas se encuentran las tierras rojas mediterráneas, que contiene entre un 10 y un 40 % de arcilla roja.
- d) **Tierras negras y suelos salinos.** Las tierras negras recubren gran parte de Andalucía Occidental y se llaman tierras negras andaluzas, con un color gris oscuro. Los suelos salinos se encuentran en las marismas del Guadalquivir y en la región del Ebro, en las provincias de Huesca y Lérida.

### 17.3. El uso del suelo

El interés económico de los suelos viene resumido en el siguiente cuadro.

TIPO DE SUELOS			INTERÉS ECONÓMICO
SUELOS ZONALES	POLARES		NINGUNO
	TEMPLADOS	PODZOL	ACUMULACIÓN LIMONITA
		TERRAS PARDAS	CEREALES
	HÚMEDOS	SUELOS ROJOS	ALMENDROS, VID, OLIVO
	TROPICALES	DESÉRTICOS	NINGUNA
		GRISES	ALGUNAS GRAMÍNEAS
		CHERNOZEM	CEREALES INTENSIVOS
	ECUATORIALES	LATERITAS	EXPLOTACIÓN DE HIERRO
		BAUXITAS	EXPLOTACIÓN ALUMINIO
SUELOS AZONALES	RANKERS		ESCASO, NULO
	RENDZINAS		ESCASO, NULO
	SALINOS		NULO
	ACUOSOS		TURBA, CARBÓN

La erosión del suelo produce con frecuencia efectos o perjudiciales para nuestros propios intereses. Cuando parte del suelo no tienen o pierde las características necesarias para que en él se desarrollen las plantas y los animales, deja de cumplirse una de sus principales funciones y se transforma en zona desértica. Estas zonas están en aumento por la acción incontrolada del hombre: incendios forestales, la deforestación, tala de árboles, pastoreo abusivo y otras alteraciones; todo esto favorece la acción erosiva de los agentes geológicos y poco a poco va degradando los suelos. El efecto del fuego sobre el suelo es importante porque además controla la vida de las semillas que hay en él y la liberación de nutrientes que modifican su fertilidad y futura revegetación. Si los fuegos son ligeros, normalmente no afectan a las semillas, pero un fuego profundo e intenso en el suelo eliminará casi la totalidad de ellas.

La puesta en práctica de algunos principios nos puede ayudar a evitar la erosión y a reducir el daño causado por la misma:

- 1) Es importante mantener la tierra cubierta por vegetación (cultivo o hierbas espontáneas). El estrato vegetal aumenta la absorción de agua, reduce las corrientes superficiales de las mismas y palía la acción erosiva de las gotas. Por eso conviene mantener los rastrojos o restos vegetales en los terrenos

de cultivo, la quema de rastrojos es claramente perjudicial. Aunque el fuego pueda ser beneficioso para la destrucción de las malas hierbas o para acelerar la mineralización de elementos fértiles del suelo, es perjudicial cuando destruye la materia orgánica y la pérdida de nitrógeno.

- 2) En los terrenos inclinados debe evitarse que el agua discurra por las laderas. La construcción de terrazas con declives suaves, hace que el agua discurra con suavidad y no arrastre los componentes del suelo. Otras medidas pueden ser las de excavar canales y zanjas, arar según las curvas de nivel, etc.
- 3) Para evitar la erosión eólica conviene plantar vegetales de profundas raíces, o colocar obstáculos adecuados para fijar dunas y evitar su avance (Ver tema 15). Estados avanzados de erosión pueden llegar a eliminar el suelo de algunas zonas, eliminando su capacidad de producción. En tales ocasiones se desencadenan estados progresivos de pobreza y se opta por la emigración a otras zonas.
- 4) También el suelo se puede erosionar por un inadecuado sistema de explotación agrícola, forestal o ganadera. Controlar la cubierta vegetal, y usar los medios mecánicos sólo como auxiliares de los biológicos pueden ser medidas correctoras oportunas.

Para el máximo aprovechamiento del suelo en la Agricultura es preciso conocer las necesidades de las plantas que se van a cultivar. Por ello es de gran interés el análisis de los suelos en toda explotación agraria bien planificada. Entre los medios que se pueden utilizar para el **control del suelo** destacamos:

- a) **Enmiendas**. Cambiar la textura de los suelos, mezclándolos con cantidades considerables de aquél de sus componentes que más escasea. La adición de materia orgánica, de cal o la corrección del sistema aire-agua, modifica la estructura favorablemente.
- b) Adición de **fertilizantes** o abonos (preferentemente orgánicos) que repongan al suelo el N, P y K extraído por las plantas.
- c) **Distribución de cultivos** (hileras alternas, cultivos de retención, rotación de cultivos para conseguir un uso óptimo de la tierra.

El Consejo de Europa en 1972, publicó un informe sobre los aspectos de la conservación del suelo en las diferentes regiones climáticas y edafológicas de Europa.

Entre los peligros a evitar señala, la erosión, el empobrecimiento y el deterioro biológico del suelo. La pérdida de terreno útil por la erosión del suelo no es el único fenómeno peligroso con consecuencias sociales y económicas; está también el empobrecimiento de los suelos agrícolas cuando no se hacen esfuerzos para compensar la pérdida de elementos fértiles, o para contrarrestar los cambios adversos de las propiedades del suelo. Por ejemplo, un mal sistema de riego puede conducir al encharcamiento, destruir la estructura del suelo o causar salinización secundaria.

En el suelo se da una interrelación entre sus distintos elementos, estableciéndose un equilibrio dinámico. Para mantenerlo hay tres fenómenos biológicos a considerar: El papel de la materia orgánica, el fuego y la contaminación de los suelos (plaguicidas, herbicidas y fertilizantes). Son necesarias técnicas de conservación compatibles, aceptables para la población local y adaptadas a los diferentes usos dados a la tierra. La planificación regional debe ser abordada de forma integrada, que conduzca a soluciones globales. La conservación del suelo es un aspecto crucial de esta planificación.

#### **17.4. La contaminación del suelo**

De la importancia que tiene la contaminación de los suelos españoles da idea el costo estimado por el MOPU (Octubre 1993) para su regeneración (250.000 millones de pesetas). Esta contaminación es predominantemente química.

La gravedad de la contaminación ocasionada por productos químicos depende, esencialmente, de dos características: su **toxicidad** y **persistencia**. Ambas están interrelacionadas puesto que la toxicidad en un

momento dado depende de: la toxicidad del producto en términos absolutos y de la concentración a la que se encuentre. La persistencia dependerá de la susceptibilidad de la sustancia a sufrir algún tipo de transformaciones (reacciones fotoquímicas, de hidrólisis, de óxido-reducción, etc.). Además de los residuos sólidos, en la contaminación del suelo juegan un papel importante las siguientes sustancias:

En gran medida la contaminación del suelo viene determinada por los **productos fitosanitarios** ya que, aunque los herbicidas son los pesticidas más utilizados no suelen originar problemas de contaminación por ser poco persistentes y por su baja toxicidad con los mamíferos.

Los principales contaminantes siguen siendo los **insecticidas organoclorados**, debido a su elevada persistencia y a su insolubilidad en agua; el DDT sigue siendo un contaminante universal. Recientemente se le está dando mucha importancia a la llamada contaminación de los alimentos, motivado por el uso de conservantes encaminados al aumento de su producción, de la calidad y de la conservación de los mismos.

La **acción de los pesticidas sobre el suelo** pueden resumirse en los efectos siguientes:

- Destrucción de muchas especies útiles o indiferentes, con el consiguiente empobrecimiento del ecosistema. Los pesticidas afectan, normalmente, a todos los seres vivos de manera indiscriminada.
- Provocan la aparición de razas resistentes.
- Contaminan las aguas de riego y potables. Pasan al subsuelo y contaminan las aguas subterráneas (posteriormente utilizadas en el riego), y se incorporan a los ríos y a los pozos de agua potables.
- Se acumulan en plantas y animales y se transmiten de unos a otros a través de las cadenas tróficas, hasta alcanzar niveles tóxicos muy peligrosos en los depredadores, que llegan a morir por esa causa.

La **contaminación debida a las labores agrícolas** procede de los caudales excedentes de las aguas de riego, la erosión, y la escorrentía de los terrenos cultivados (la mitad de los sedimentos de los ríos y los lagos procede de la erosión de las tierras de cultivo). La cantidad de contaminación dependerá del tipo de cosecha, calendario de siembra, forma de laboreo del suelo, periodicidad, dosificación y clase de pesticidas y fertilizantes, etc.

**Lluvia ácida.** Los óxidos de azufre y de nitrógeno, en la atmósfera, se pueden transformar, al reaccionar con el agua, en ácido sulfúrico y ácido nítrico. Esta lluvia ácida, además de afectar a las cosechas y a la producción forestal, altera la estructura de las rocas.

Las consecuencias de la contaminación química del suelo las podemos resumir en:

- Destrucción de los ecosistemas y desertización.
- Alteración del pH del suelo; debido sobre todo a las lluvias ácidas, modificándose las características químicas del suelo, lo que puede desembocar en producir una alteración en los ecosistemas y en los cultivos.
- Transmisión de enfermedades: los contaminantes pueden acumularse en las plantas o a través de las cadenas alimenticias, producir enfermedades, inclusive, en el hombre.
- Destrucción del paisaje: al cambiar el clima y desertizarse la zona, el paisaje natural se deteriora.

**Contaminación microbiana.** Esta contaminación está ligada al agua que contiene el suelo. Entre las principales fuentes de contaminación microbiana destacamos: sustancias orgánicas no tóxicas (mataderos), inorgánicas no tóxicas, orgánicas tóxicas (disolventes orgánicos, pinturas), etc.

**Sustancias radiactivas.** Las de mayor interés, por sus efectos biológicos son:  $\text{Sr}^{90}$ ,  $\text{Cs}^{137}$  y  $\text{C}^{14}$ . Está también ligada a la contaminación del suelo.

**Minería.** Además de los impactos paisajísticos que esta pueda ocasionar, es de reseñar que las modificaciones del terreno y la contaminación del aire y de las aguas, influyen negativamente en los suelos. Pueden ser destruidos, degradados o contaminados por metales pesados, compuestos tóxicos, aguas ácidas, sedimentos que aterren el suelo, gases nocivos, etc. Las consecuencias van desde la caída de la productividad primaria agrícola, hasta la práctica desaparición de microorganismos y vegetación del suelo.

#### **17.4.1. Residuos sólidos.**



Según la Ley 42/1975 el concepto de residuo es definido como todo material resultante de un proceso de fabricación, transformación, utilización, consumo o limpieza, cuando su poseedor o productor lo destina al abandono.

La OCDE define residuo como los productos de desecho sólidos, líquidos y gaseosos, generados en actividades de producción y consumo, que ya no poseen valor económico por falta de tecnología adecuada que permita su aprovechamiento o por la inexistencia de un mercado para los posibles productos a recuperar.

Los más importantes son: restos orgánicos agrícolas, lodos de estaciones depuradoras, restos de explotaciones mineras (estériles, escorias, sustancias contenidas en aguas de drenaje, etc.), restos domésticos (basuras y escombros), restos sólidos urbanos de composición heterogénea (0'73 Kg./día).

La descarga incontrolada de estos residuos sólidos ocasiona una serie de riesgos entre los que destacamos: la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, el desplazamiento de la fauna y flora local, la proliferación de especies peligrosas, olores, ruido, contaminación atmosférica por combustión, etc.

Existen diferentes métodos para el **tratamiento de los residuos sólidos**:

- a) Eliminación de los mismos mediante su vertido sobre el terreno, al mar o su incineración.
- b) Reciclaje.
- c) Transformación de los materiales de los residuos para dar nuevos productos y la recuperación de la energía (calor por combustión).

Entre los **MÉTODOS PARA LA ELIMINACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS** señalamos:

- a) **Descarga directa:** No costoso, pero puede contaminar las aguas superficiales y subterráneas, proliferan los insectos, produce malos olores, efecto estético negativo, impide dedicar el suelo para otros usos, etc., lo que determina casi siempre un estado de opinión desfavorable.
- b) **Vertidos controlados. Eliminación directa.** Los vertidos se depositan en el terreno formando capas. Un factor esencial en esta técnica es la elección del lugar adecuado para el emplazamiento del vertedero. Deben tenerse en cuenta aspectos tales como: longitud del transporte, contaminación de las aguas, visibilidad y disposición de los materiales inertes para la cobertura de los residuos. No es demasiado costoso, permite recuperar el terreno para otros usos una vez sellado el vertedero, admite toda clase de residuos que no es necesario clasificar. Entre los inconvenientes podemos señalar que la lixiviación puede contaminar las aguas, necesitan mucha superficie de terreno, puede haber riesgo de incendios, etc.
- c) **Vertidos controlados. Eliminación de residuos tratados.** Los vertidos se depositan en el terreno formando capas, se compactan o trituran con el fin de reducir su volumen y posteriormente se recubren por una capa de tierra u otro tipo de material inerte (cenizas). El proceso de trituración reduce el volumen de los residuos y prolonga el período de tiempo de utilización del vertedero. Reduce los riesgos de contaminación de las aguas. El emplazamiento requiere un acondicionamiento previo mínimo después de su utilización.
- d) **Incineración.** Reduce el volumen de residuos urbanos un 90 %, pudiéndose utilizar la energía térmica liberada para sistemas de calefacción, generación de electricidad, etc. Es un sistema costoso y, además, no todos los residuos pueden incinerarse. Hay posibilidad de escapes de humos, cenizas, olores, y ciertos productos (plásticos) pueden dañar los equipos. Su manipulación precisa de mano de obra cualificada.

## RECUPERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS.

La recuperación de la energía o de los materiales contenidos en los residuos sólidos se viene planteando desde hace unas decenas de años (en 1977 Dinamarca convertía en energía el 60 % de sus residuos sólidos, Suiza el 40 % y Holanda y Suecia el 30 %). El volumen creciente de residuos, el coste de los sistemas de eliminación de estos residuos de forma aceptable para el medio ambiente, el ahorro de energía

y el aprovechamiento de materias primas, son los principales motivos que han impulsado las técnicas de reciclaje.

Entre los materiales que pueden ser reutilizados se encuentran: papeles, cartones, metales (hierro, Aluminio), plásticos, textiles, vidrio y materia orgánica. La composición media de los residuos urbanos es la siguiente: Papeles y cartones (20 - 45 %), residuos vegetales y animales (15 - 30 %), vidrio (6 - 13 %), metales (4 - 11 %), materias plásticas (3 - 8 %), textil y madera (3 - 5 %).

Los papeles y cartones contenidos en los residuos pueden emplearse en la elaboración de productos de embalaje, papel para impresión y escritura, fabricación de pañuelos y servilletas, etc. El hierro y el estaño (botes de conservas), se pueden reutilizar en acerías. Los residuos textiles, en la fabricación de trapos desecado. El vidrio de desecho puede usarse como materia prima en la industria del vidrio, lo que permite disminuir la  $t^{\circ}$  de fusión del horno, reduciendo el consumo energético y los niveles de contaminación atmosférica generados; otra utilización del vidrio, aún no desarrollada, consiste en su empleo en la fabricación de revestimientos de los suelos y como materia de relleno y cubierta de carreteras. La materia orgánica sometida al tratamiento de compostaje, puede reutilizarse en agricultura.

Las **operaciones de reciclado** sigue dos grandes líneas:

- a) **Selección mecánica.** La mezcla de residuos se clasifica en una serie de fracciones (orgánica, plásticos, papel, etc.), por procedimientos mecánicos y físicos. Requiere instalaciones complejas para realizar la separación y tratamiento de los distintos subproductos y su transporte, todo ello supone importantes inversiones.
- b) **Separación selectiva.** Implica la recogida de los productos de reciclaje por separado (contenedores específicos de vidrio, papel, etc.), en el lugar que son engendrados, y su transporte a los puntos donde recibirán un tratamiento especializado con vistas a su reutilización. Un aspecto esencial en este procedimiento es la colaboración ciudadana.

El aprovechamiento energético de los residuos sólidos urbanos se lleva a cabo en las incineradoras, mediante una combustión controlada. La falta de pureza de determinados materiales y las fluctuaciones a las que están sujetas los precios de los productos en el mercado son los problemas principales que inciden en la viabilidad económica de las operaciones de reciclaje.

### TRANSFORMACIÓN DE LOS RESIDUOS

La transformación de los componentes de los residuos con el fin de obtener energía o productos con otras aplicaciones es otra forma de aprovechamiento de los desechos.:

**Compostaje.** Consiste en la degradación bioquímica (aerobia o anaerobia) de la materia orgánica de los residuos, mediante la acción de microorganismos presentes en los mismos. El producto obtenido es el compost. Su calidad como abono es baja, pero se emplea como sustituto de la turba para mejorar las propiedades del suelo, ya que aumenta su capacidad de retención de agua e incrementa los procesos de nitrificación.

**Papel.** A partir de residuos de biomasa, se tritura, cuecen, depuran, refinan, blanquean y se someten a pulpación.

**Bioalcohol.** Los residuos de biomasa se someten a un pretratamiento, después a un tratamiento químico, se hidrolizan, fermentan y purifican.

**Biogas.** Se acondiciona los residuos de biomasa y se someten a digestión anaerobia.

#### 17.4.2. La gestión de los residuos en España

Las líneas actuales que sigue la Dirección General de Política Ambiental en relación a los residuos se pueden concretar en los siguientes puntos:

Apoyo a la ejecución de los planes de gestión de residuos de otras administraciones y que estén encaminados a las actuaciones de reciclado de productos de desecho y sellado y recuperación de vertederos incontrolados.

Apoyo al reciclado del vidrio y del papel por medio de campañas iniciadas en el año 1993, suministrando los contenedores y camiones de recogida a los ayuntamientos.

Elaboración de planes concretos, como el Plan Nacional de Residuos Sólidos Urbanos (PNRSU), con el que pretende coordinar y racionalizar la gestión de los mismos; el Plan Nacional de Residuos Peligrosos (PNRP) o el Plan Nacional de Residuos Industriales (PNRI), que se fundamenta en la concesión de ayudas

a proyectos de minimización y de gestión de residuos que en la actualidad carecen de tratamiento adecuado en España.

### **17.5. Análisis de suelos**

No existe un sistema generalmente aceptado en relación con el análisis de suelos con fines de consulta, debido a la importancia de la interpretación de condiciones muy diferentes en distintos países y regiones. El propósito general del análisis de suelos es dar una expresión cuantitativa de la constitución y de las propiedades de los mismos. Este análisis se puede realizar en el laboratorio y/o en el campo y suele tener dos finalidades:

- a) Descubrir y atribuir las deficiencias de nutrientes vegetales para recomendar el tipo de cultivo adecuado.
- b) La especificación exacta y cuantitativa de un suelo para conocer su constitución y compararlos con otros.

Al considerar los métodos de análisis de suelos debemos distinguir entre los **métodos absolutos** y los **convencionales**. Estos últimos tienden al aspecto práctico y sólo tienen un ligero significado fuera de su utilidad práctica, sólo tienen un valor temporal. Un sistema ideal de análisis de suelos nos da una descripción cuantitativa completa que sirve para la comparación y para la clasificación.

Nuestra intención es la de proponer un procedimiento sencillo de análisis pensando, no en especialistas, sino en los alumnos de Secundaria. Para proceder al análisis de un suelo se procede de la manera siguiente:

**Toma de muestras.** Se toma del horizonte superficial una muestra (unos 100 g.) desprovista de hojarasca y otra muestra similar a 30 o 40 cm. de profundidad. Se guardan en bolsas distintas haciendo constar: localización del punto de muestreo, horizonte y tipo de vegetación que presenta.

1. **Composición mecánica.** Suele ser la primera información. Se utiliza una serie de tamices de diferente diámetro por donde, tras lavar la muestra, se van filtrando y separando las distintas fracciones (arcilla  $\varnothing < 0'002$  mm.; limo  $\varnothing = 0'002 - 0'06$  mm.; arena  $\varnothing = 0'06 - 2$  mm., y grava  $\varnothing > 2$  mm.), luego se procede a su representación gráfica (curvas, diagramas triangulares, etc.). El análisis mecánico tiene relación con la textura (6). El dato más importante es la cantidad de arcilla.

- La fracción arcilla es el lugar de la mayor parte de la reactividad química del suelo. Durante mucho tiempo se ha expresado su composición por las relaciones moleculares de  $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$ .

2. **Investigación del color.** El color nos suele informar acerca de la naturaleza del suelo. Depende del contenido en materia orgánica y mineral. La materia orgánica proporciona un color oscuro, mientras que otros colores se deben a la materia mineral (en particular a la arcilla coloidal).

- Los colores negruzcos son consecuencia de la materia orgánica (raramente se deben a una composición mineral tipo magnetita). La intensidad del mismo no siempre es consecuencia de su mayor o menor concentración (es más oscuro un suelo arenoso que uno arcilloso o limoso con idéntica cantidad de materia orgánica). Por otra parte el contenido en carbonatos (Chernozem, Redzinas) provoca un humus más oscuro que en los suelos rojos tropicales. Los horizontes más oscuros son los superficiales.
- Los colores blanquecinos. Se deben a la ausencia de materia orgánica y de óxidos férricos y ferrosos) generalmente por lavado de los horizontes más superficiales. En regiones áridas y semiáridas se puede producir la acumulación de sales (carbonatos y sulfatos de Ca y Mg) intercalares e incluso las sales superficiales (suelos salinos y litosuelos sobre calizas).
- Los colores grisáceos y azulados se producen por reducción de los óxidos férricos a ferrosos en zonas pantanosas y mala aireación (Gley). También pueden producirse por intenso lavado de los horizontes superficiales con eliminación del óxido férrico por aguas de infiltración ácidas (Podzoles).
- Los colores verdosos (poco frecuentes), son atribuibles a la presencia de minerales ferrosos (pirita, marcasita, glauconita).
- Los colores pardos son producidos por la presencia de óxidos férricos hidratados, junto con algo de materia orgánica y arcilla. Dada esta composición son suelos con buen drenaje y aireación. A medida que aumenta la materia orgánica del horizonte superior, se van oscureciendo (suelos pardos y tierras pardas).
- Los colores amarillentos los producen óxidos férricos hidratados sin, apenas, materia orgánica en esos horizontes (terra fusca).

- Los colores rojizos están asociados a un menor grado de hidratación que los pardos o amarillentos. La presencia de oligisto y dióxido de manganeso (Pirolusita) indican un buen drenaje y una buena aireación. En el caso de las areniscas o margas rojas del Triásico, el color es debido a la composición de la roca y no es indicativo, por tanto, de gran permeabilidad y aireación. (Terra rossa)
- Los colores siempre se describen en términos cualitativos con lo que, un autor familiarizado con un tipo de suelos tiene una idea más clara de la serie de colores que se presentan en estos suelos, que la escala de colores de otros suelos con los que esta menos familiarizado.

3. **Grado de aireación.** La determinación se realiza en el campo con una muestra extraída entre los 10 - 30 cm. Se toman dos pellizcos de tierra y se depositan en el eje del pliegue de un papel de filtro semiplegado, se añade una gota de ClH, se pliega y, por fuera, se añade una gota de disolución de tiocianato potasio en la mancha 1 y de ferricianuro de potasio en la mancha dos. La observación de los colores resultantes indica el grado de aireación según el siguiente cuadro:

Color mancha 1	Color mancha 2	Grado de aireación
Roja	Incolora	Buena
Incolora	Azul	Mala
Roja	Azul	Inadecuada

- La determinación del espacio poroso y el peso por unidad de volumen no ofrece ninguna dificultad en laboratorio, su determinación en el campo es laborioso, y excepto en suelos casi libres de piedras, tropieza con bastantes dificultades.
4. **Grado de acidez (pH).** Se debe mezclar bien, en un pocillo, volúmenes iguales de suelo y de agua destilada, aunque la International Societe of Soils Science recomienda la proporción agua/suelo = 1 / 2'5. Después se moja en una tira de papel indicador. Después se puede acudir a consultar el pH óptimo para distintos cultivos. Avena y patata (entre 5'5 - 6); maíz, judías, guisantes, cebollas (entre 6 y 6'5), etc. Los valores más bajos los dan las turbas y podzoles húmicos, mientras que los más altos corresponden a los suelos alcalinos.
5. **Textura.** La textura se refiere a las propiedades físicas del suelo de cultivo, y depende también del cultivador. Conviene tamizar la tierra previamente con un tamiz de 2 mm. de Ø de malla. Tras humedecer la muestra se trata de realizar, con la espátula y con la mano, filamentos de unos 1-3 mm. de Ø y 10 mm. de longitud. Si no es posible, el suelo es arenoso; si se forman pero no se pueden enrollar (suelo equilibrado), y si se logra enrollar el suelo es arcilloso.
6. **Contenido en carbonatos.** Suele ir unida, su determinación, con el análisis mecánico del suelo, suele ser indicativo de saturación de bases, se detecta por el desprendimiento de dióxido de carbono producido al reaccionar con un ácido (ClH 3M). Para realizar una determinación cuantitativa en un gramo de muestra se utiliza la siguiente fórmula:

$$a = (n \cdot 0'1 - 0'4) \cdot 15 \quad a = \% \text{ de } \text{CaCO}_3, n = n^\circ \text{ de gotas añadidas hasta el desprendimiento}$$

7. **Determinación de materia orgánica.** Tan importante como la determinación mecánica es conocer el contenido de materia orgánica para poder caracterizar un suelo. Casi toda la materia orgánica del suelo consiste en materiales coloidales que, junto con la arcilla, forman el complejo coloidal. Se pueden realizar distintas determinaciones como por ejemplo la calcinación que también sirve para dar una información aproximada del valor coloidal del suelo.

Nosotros proponemos el siguiente método de determinación: Se mezclan 5 g. de suelo con 5 cc. de disolución normal de dicromato potásico procurando mezclarlo bien. Se vierte sobre la mezcla 10 cc. y se sigue mezclando. Tras conseguirlo se deja reposar la muestra y se agrega con cuidado agua destilado hasta completar 50 cc. Se filtra y se recoge el contenido, de su color se deduce el contenido en materia orgánica:

Color naranja	0 % de materia orgánica
Color ocre	2 % de " "
Color verdoso	> 5 % " "

Un **análisis total** del suelo incluye la determinación de sílice, sesquióxidos, óxidos de titanio, álcalis (Ca, Na y otras bases de cambio). En ciertas clases de suelos es conveniente determinar el contenido de bases solubles, se suele hacer por mediciones de conductividad eléctrica.

Normalmente la mayoría de métodos de análisis de suelos suelen estar en función de ciertas preguntas tales como ¿qué tipo de abono necesito?, ¿dosis?, etc. Para contestar a preguntas de este tipo es necesario, realizar medidas analíticas e interpretar los resultados de estas determinaciones. Existe una numerosa serie de métodos, lo que indica disparidad de criterios en cuanto a las determinaciones fundamentales, mientras que la interpretación de los datos analíticos requiere que se relacionen con una serie de circunstancias tales como cultivo, estación y posiblemente condiciones económicas. Las necesidades de un suelo son, con mucho, una cuestión opinable a la vista de ciertos datos analíticos. El principio básico de la mayor parte de este trabajo es la determinación de los denominados nutrientes vegetales utilizables. Un método analítico no sólo debe dar resultados significativos sino que su empleo debe adaptarse a gran número de muestras. Un método completamente diferente de enfocar el problema, que escapa al contenido de este tema, es utilizar el crecimiento de las plantas con el fin de establecer diagnósticos (enfermedades carenciales).

### Clasificación francesa de suelos (Gand 1962)

Se basa en los procesos de evolución del suelo, para lo que se requieren tres premisas: grado de evolución del perfil; naturaleza de la evolución; y tipo de humus. La clasificación es la siguiente:

#### SUELOS NO EVOLUCIONADOS

Características próximas a las de la roca madre	Formados por EROSIÓN	Litosoles: sobre roca madre dura Regosoles: sobre roca madre blanda
No presentan aportes importantes de materia orgánica	Formados por APORTE	Aluvionales: recientes, de origen fluvial
No existen perfiles diferenciales	Origen CLIMÁTICO	Poligonales (periglaciares) Ergs o desiertos de arena

#### SUELOS POCO EVOLUCIONADOS

A) Con complejo DESATURADO	Ránker de erosión (pendientes) o de aporte (vertientes). Tundra y alpinos húmedos (horizonte A <sub>1</sub> desarrollado)
B) con complejo SATURADO	Redzina Suelo de estepa continentales y mediterráneos subáridos; Chernozems, etc.

#### SUELOS EVOLUCIONADOS

A. Con Mull: bosques de hayas, robles y encinas, y zonas de gramíneas. T <sup>a</sup> ↑, H <sup>a</sup> media, rico en Ca	Suelos pardos Suelos lixiviados templado Atlántico.
B. Con Mor: T <sup>a</sup> ↓, vegetación acidificante, poco activos biológicamente.	Podsoles. Se forman a degradarse suelos forestales.
C. Ferruginosos y ferralíticos: T <sup>a</sup> ↑, H <sup>a</sup> ↑; liberación de óxidos de Fe y de Al.	Ferruginosos Ferralíticos
D. Hidromorfos	Suelos con pseudogley, alternan periodos secos y húmedos (se oxida el Fe). Suelos con gley. Nivel freático permanente (ambiente reductor)
E. Halomorfos o salinos	



**OTROS CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN**

TIPO	HORIZONTES, RASGOS CARACTERÍSTICOS	FERTILIDAD	DISTRIBUCIÓN
Entisol	Ninguno o rudimentario; se forma en tierras de aluvión húmedas.	Buena	Valles fluviales, como por ejemplo el Nilo, el Yangzi Jiang, el Amarillo
Vertisol	Ninguno; alto contenido de arcilla hinchable	Buena	Pastizales de regiones estacionalmente secas, como por ejemplo India, Sudán, Texas
Inceptisol	Incipiente; se forma en superficies de tierras jóvenes	Variable	En todo el mundo, aunque más común en regiones montañosas
Aridisol	Diferenciado, especialmente el horizonte de arcilla	Buena con riego	En regiones desérticas de todo el mundo
Mollisol	Diferenciado, con horizonte de gruesa superficie orgánica oscura	Excelente, especialmente para cereales	Grandes praderas, pampas argentinas, estepas rusas
Spodosol	Diferenciado, con concentraciones de materias orgánicas, aluminio y hierro	Buena, especialmente para trigo	Bosques septentrionales de Europa y Norteamérica
Alfisol	Diferenciado, especialmente el horizonte de arcilla	Deficiente, requiere fertilizantes	Regiones húmedas y templadas de Norteamérica y Europa
Ultisol	Diferenciado, altamente lixiviado con horizonte de arcilla ácida.	Deficiente, requiere fertilizantes orgánicos	Subtrópicos húmedos, como por ejemplo el sureste de EEUU India, el Sureste asiático
Oxisol	No diferenciado, con brillantes rojos y amarillos debido a los minerales ferrosos	Deficiente, requiere fertilizantes	Trópicos húmedos, en especial las cuencas del Amazonas y del Congo
Histosol	No diferenciado, drenaje deficiente, el más alto contenido de carbono orgánico que todos los demás suelos	Variable	Regiones húmedas, tanto frías (turberas) como cálidas (pantanos) de todo el mundo