

LA EDAFOLOGIA: ORIGEN, DESARROLLO Y CONCEPTOS

I. BARRIOS

RESUMEN

Se realiza una síntesis de las fases del desarrollo de la Edafología como ciencia y analizan además los factores de formación del suelo.

La influencia del tipo de roca es tanto más importante cuanto menor sea la escala de trabajo. Las relaciones existentes entre las propiedades y tipos del suelo con el material original son muy complejas. Nuestra litología es muy variada, encontrándose rocas calcáreas, areniscosas, margosas, esquistosas, graníticas, etc. Su composición químico-mineralógica y el grado de estabilidad de los minerales primarios en los sistemas naturales es extraordinariamente variado y además aspectos de tanta importancia como el grado de fracturación y la porosidad pueden oscilar dentro de un mismo tipo de roca.

El relieve se puede afirmar que junto con la roca, es el factor más importante de la diferenciación de nuestros suelos, pues en un país tan accidentado como el nuestro, se producen fuertes variaciones topográficas en áreas pequeñas. Esto da lugar a que propiedades tan importantes como la profundidad efectiva, contenido en materia orgánica, humedad, erosionabilidad y fertilidad, entre otras, sean modificadas, dependiendo de la posición, aún bajo el mismo tipo de roca.

Se pueden observar en el País Vasco tres zonas climáticamente diferentes. De ellas, la que más nos interesa es la templado húmeda (oceánica) que se extiende a través de Guipúzcoa, Vizcaya y Norte de Navarra. Los suelos de este área sufren un lavado intenso, pero según la litología y la topografía encontraremos suelos de una climatología edáfica muy variada. Así tenemos desde suelos hidromorfos (Fluvisoles que se hallan en las llanuras aluviales) hasta suelos con un déficit hídrico muy acusado sobre materiales silíceos (Litosoles de Peñas de Aya y Jaizkibel).

Respecto a la edad de nuestros suelos, la falta de superficies estables en la zona templado húmeda condiciona que se hallen sujetos a fuertes procesos erosivos. Por lo tanto son suelos jóvenes, todavía en general, lejos de su madurez.

La acción desequilibradora antropógena hace que la influencia de la vegetación autóctona sea mínima, debido a la intensa explotación maderera y ganadera.

1. OBJETO DE ESTA CIENCIA

El objeto de la Edafología es el suelo y según la definición que adoptemos variarán los límites y la forma de estudio.

El concepto que se tiene del suelo no sólo varía con el tiempo, sino que también varía según las distintas escuelas, corrientes de pensamiento o el enfoque establecido por el observador.

Así, el suelo puede presentarse como un cuerpo natural con una dinámica propia o como, un eslabón más dentro de los ciclos de la materia y energía.

2. HISTORIA DEL DESARROLLO DE LA EDAFOLOGIA

En la historia de una ciencia se suelen considerar tres fases.

1. La etapa pre-científica, con conocimientos dispersos no diferenciados, y, siempre entremezclados con ideas de tipo filosófico-religioso acerca de la naturaleza. Es muy larga. Termina en el siglo XVIII.

2. Una segunda fase ocurre tras la aparición del método científico y su aplicación al propio objeto de interés. En esta fase se asientan los pilares o principios fundamentales de dicha ciencia. Esta fase no ocurre simultáneamente en todas las ciencias, sino que hay una gradación en el tiempo. Así la Física o más exactamente la Mecánica, con la revolución que supusieron los trabajos de Copérnico (1543), Kepler (1609) y Galileo (1609), ya alcanzó este nivel hacia el 1600.

El establecimiento de esta metodología en la Física y la invención de utensilios y aparatos permitió su aplicación al campo de la Química que inició su despegue de esta manera de las teorías alquimistas, en parte derivadas de la filosofía aristotélica.

Vemos que no hay un desarrollo simultáneo de las etapas sino que son los conocimientos, los métodos de trabajo y los instrumentos creados en las Ciencias Básicas los que al dirigir su atención a un determinado objeto natural originan su desarrollo.

En el caso de la Edafología esto es particularmente aparente y sus ideas básicas han necesitado de la aportación de otras ciencias, principalmente la Física, Química, Geología, Biología y Geografía.

El fin de la fase de creación de las ideas fundamentales y el surgir de la Edafología como ciencia se hace coincidir con los trabajos de Dokuchaev, quien sintetizó y armonizó los diferentes enfoques hasta entonces existentes.

3. El tercer período es el desarrollo de la Ciencia ya, independientemente, desarrollo que es extraordinariamente rápido en la obtención de datos y está basado en la aparición de nuevos instrumentos de trabajo, mientras que las ideas básicas se ven escasamente modificadas.

2.1. El Desarrollo de la Edafología anterior a Dokuchaev

El suelo en sentido amplio es conocido desde tiempos remotos, desde que el hombre se volvió sedentario y comenzó a cultivar sus propias cosechas, tuvo necesidad de conocer el suelo, sus propiedades y su comportamiento. Todo ello desde un punto de vista utilitario.

Esta gran revolución caracterizó al período Neolítico. De acuerdo con los datos más probables, parece que hace unos 9000 a.d.C. comenzó la agricultura.

Simonson (1958), sitúa en las montañas Zagros y en la zona de Mesopotamia el lugar en que se produjo este cambio trascendental. En fechas posteriores la revolución agrícola comienza a aparecer como un componente importante en las antiguas civilizaciones; aproximadamente 6000 a.d.C. en China; de 4 a 5000 en Egipto; en México y Perú 4000 y hacia 2500 en el valle del Indo.

En esta fase de iniciación de la agricultura, el hombre neolítico debería de reconocer ya algunas diferencias entre los suelos demasiado húmedos, arenosos, etc., y conocer la influencia de algunas técnicas agrícolas como la fertilización producida por la adición de restos orgánicos y por el quemado de una zona de bosque o matorral.

También se debía conocer ya, a partir de la aparición de la Cerámica, 4000 a 5000 a.d.C. en Mesopotamia y Egipto, algunas de las propiedades de los materiales; facilidad de cocción, las propiedades de plasticidad, contracción al secado, etc.

El concepto de suelo es un concepto utilitario de esta manera no es extraño que se hicieran clasificaciones de suelos buenos o malos, útiles. Así aparece en China la primera clasificación conocida de suelos, unos 4 a 5000 años a.d.C. dividiéndolos en nueve clases según su capacidad de dar cosechas. Así utilizaban como criterio, el color del suelo, que es una propiedad muy importante.

En el Antiguo Testamento Acsa, la hija de Caleb le habla a su padre de «tierra de secano y tierra de regadío» (Josué 15, 19).

Se puede concluir que las antiguas civilizaciones tuvieron una interrelación muy grande con la agricultura y que en algunos casos su decadencia fue debida a la destrucción de la fertilidad de sus suelos Macías Vázquez, 1980).

Quizás el autor griego que mejor sintetizó las concepciones utilitarias y filosóficas, fue Teofrasto (327-287 a.d.C.), discípulo de Aristóteles (384-322 a.d.C.) que fue botánico y filósofo. Se conservan de él dos obras «Investigaciones sobre las plantas» y un «Tratado de las causas de la vegetación». Definió al suelo como «el estómago de las plantas» y afirmó que «las plantas constan de los elementos tierra-agua». Su doctrina se admitió y continuó durante toda la Edad Media.

En 1840 Von Liebig publica: «La química y sus relaciones con la agronomía». Distingue en el suelo la parte orgánica y la mineral. Considera al

suelo como una reserva pasiva de nutrientes para las plantas. Observa que las plantas absorben sales minerales del suelo y que el humus es un producto transitorio entre la materia orgánica y las sales minerales. En 1842 se creó la industria de los fertilizantes. Esta época corresponde sobre todo a una visión químico-agrícola y utilitaria del suelo.

2.2. Dokuchaev y la Escuela Rusa

En 1877, Ucrania padeció una sequía catastrófica y una sociedad cultural rusa, la Sociedad Libre Económica de Petersburgo, se interesó y financió una expedición científica para estudiar sobre el terreno los efectos de la sequía y los posibles remedios, en las «tierras negras», (estas tierras dan el 80-90% de la cosecha de cereales de Rusia y producen de 2 a 3 cosechas al año), al mando de Dokuchaev, el cual además de ser geólogo, tenía conocimientos de tipo geográfico y geobotánico y a ello se añadía su interés por los aspectos o condiciones económicas.

Conviene resaltar la diferencia entre la Europa occidental y Rusia. En el oeste de Europa la gran densidad de población hacía necesario incrementar el rendimiento de la agricultura mediante la adición de abonos, mientras que en las inmensas regiones de Rusia, el problema no era la falta de suelo, sino conocer las diferentes condiciones de la naturaleza para poderlas aprovechar y en caso necesario, eliminar las condiciones desfavorables modificando los tipos de cultivos del país. En último caso y dado el exceso de suelo, las zonas más dificultosas podrían ser totalmente abandonadas.

También había unas diferencias respecto a la Geología. El desarrollo de la Edaf. occidental en países poco extensos, en que las condiciones climáticas apenas variaban en todo el territorio, condicionó el papel primordial al factor material de partida.

Sin embargo al estudiar los suelos de la inmensa llanura rusa, donde de N. a S. se producían grandes modificaciones climáticas, se llegó a una concepción opuesta:

«rocas iguales en climas distintos, dan suelos distintos, y rocas distintas pero bajo el mismo clima, dan suelos iguales.»

Para Dokuchaev sólo tienen importancia los factores externos y de ellos el principal es el clima.

Dokuchaev estableció una clasificación de los suelos según su potencial agrícola. Utilizó para ello el procedimiento de correlaciones geográficas, según el cual la distribución del suelo depende de las condiciones ambientales.

Rusia era el país ideal para aplicar este método ya que por su gran extensión, las variaciones climáticas se podían observar tanto en sentido latitudinal como altitudinal, llegando así a la idea de zonalidad.

En Dokuchaev se observan influencias de Von Humboldt y de Darwin, ya que su método se basa en la visión armónica de la naturaleza, en que no se

estudian los componentes del suelo de forma aislada, como se había hecho hasta entonces.

La otra visión o enfoque importante de la escuela rusa se encuentra en la doctrina evolucionista que fue rápidamente aceptada; así se empezó a ver el suelo no sólo como una entidad independiente sino también dinámica, que tiene un principio y un desarrollo.

Para Dokuchaev la vegetación era un factor de formación pero era más importante la influencia del clima. En relación con la degradación de los Chernosem (los suelos que había estudiado Dokuchaev en Ucrania) hacia suelos lixiviados y podsolizados, Dokuchaev considera que era debido a fenómenos climáticos, pero un discípulo suyo Korschinskii sostenía que la degradación era estrictamente biológica, debido a los restos vegetales que llegaban al suelo. Finalmente Dokuchaev admitió esta hipótesis, y por tanto reconoció a la vegetación como un factor de formación directo en la génesis de suelos.

Fueron Dokuchaev y sus discípulos los que asentaron las bases de la Edaf. moderna y reconocieron al suelo como un cuerpo natural organizado, acreedor por si mismo de un estudio científico.

La segunda generación de edafólogos rusos ampliaron el campo de estudio de los suelos estudiados por Dokuchaev a todos los tipos de suelos y medios de Rusia y divulgaron las teorías y metodología indicada por Dokuchaev al mundo occidental, donde tuvieron una gran resonancia.

Dokuchaev realizó la primera clasificación de suelos del mundo. Murió sin dejar nada escrito.

Glinka, uno de sus discípulos escribió el primer Tratado de Edafología y ocupó la primera cátedra de Edafología en Nueva Alejandría.

Dos discípulos de Glinka, Ramann (alemán) y Marbú (inglés) lo traducen al alemán y al inglés.

En 1924 se realiza el primer congreso en Roma. A partir de entonces la Edafología comienza a funcionar como una ciencia, con su metodología propia.

3. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Es necesario antes de seguir esta exposición comprender una serie de conceptos que son fundamentales en Edafología; suelo, pedon, horizonte y perfil.

3.1. Suelo

El vocablo suelo ha cambiado de significación en el curso de la historia. Así el especialista norteamericano en Genética de suelos, Hans Jenny (1968)

señaló que los pintores del siglo XIV mostraron paisajes completos de resaltes de rocas desnudas. Los artistas de siglos posteriores han llegado a representar, primero una cubierta de vegetación sobre roca y más recientemente una capa de suelo entre la vegetación y el sustrato, con horizontes.

En 1967 Boulaine y Aubert dieron una definición bien elaborada:

«Es el producto de la alteración, de la reestructuración y de la organización de las capas superiores de la corteza terrestre bajo la acción de la vida, de la atmósfera y de los intercambios de energía que en ella se manifiestan».

Los componentes del suelo que nosotros observamos, medimos e interpretamos, no pertenecen a un sistema de cuerpos materiales fijos, sino que transitan en el interior del pedon procediendo de la atmósfera (agua, nitrógeno, carbono); de la hidrósfera (sodio, potasio, cloro, sulfatos, etc.); de la litósfera (fósforo, oligoelementos, calcio, magnesio, etc.) o de pedones vecinos.

Estas transferencias continuadas, alternadas, cíclicas o episódicas se hacen a velocidades variables y en direcciones variadas. Por tanto, el concepto de suelo es un concepto muy difícil de definir. Los constituyentes del suelo son los residuos de la alteración minera que constituía el estado inicial del suelo, pero provienen también de la atmósfera y de los organismos asociados a ellos.

El suelo es el resultado y la interacción de al menos cinco tipos de factores:

- Clima.
- Roca madre.
- Tiempo.
- Relieve.
- Seres vivos, y a veces el agua libre dentro del perfil, de las capas freáticas.

En resumen, el suelo es una estructura cuadridimensional (tiempo Y espacio), en la cual persisten y transitan:

- Los residuos y productos de la alteración de la capa mineral superficial del globo.
- Las materias orgánicas muertas o vivas de la biomasa asociadas a esta capa superficial.
- Los elementos que provienen de la atmósfera, sea de modo accidental, sea de modo cíclico.

La organización y evolución de esta estructura es el resultado de variaciones de formas de energía de toda clase que se manifiestan en la superficie de la tierra. Estas son permanentes (el peso), cíclicas (calor), acumulativas (seres vivos al comienzo de la evolución del suelo) y accidentales (acción del hombre).

3.2. Pedon.

Según la Soil Taxonomy en 1960, en la 7.^a aproximación es «el volumen más pequeño que permite el estudio de todos los horizontes».

El pedon es comparable en muchas ocasiones a la unidad de la célula o a la del cristal.

La superficie varía de 1 a 10 m.² tiene tres dimensiones y forma hexagonal. Según Aubert y Boulaire (1967), es el volumen más pequeño que puede ser llamado suelo.

3.3. Horizonte

En el suelo se observa la existencia de capas paralelas a la superficie, llamadas horizontes, de textura, estructura y colores diferentes, que se producen durante la formación y evolución del suelo por la influencia de los factores ecológicos.

Los horizontes están tanto más diferenciados cuanto más evolucionado está el perfil. Su designación se realiza por las letras: A, B y C, etc.

Podemos distinguir según su posición dos tipos de horizontes: superficiales y de profundidad.

Vamos a ver primero los superficiales.

3.3.1. Horizonte H (*hístico, de histos = tejido*)

Es un horizonte con un contenido muy alto de materia orgánica, 30% o más. Tiene que estar durante casi todo el año encharcado o con un grado de humedad muy elevado. Es una acumulación de restos vegetales prácticamente sin descomponer en los que puede verse prácticamente la estructura primitiva, incluso puede decirse de qué especie vegetal se trata.

Por tener un grado de humedad tan grande (anaerobiosis) los procesos biológicos están muy frenados. Su color es siempre negro o pardo negruzco y el espesor varía desde unos centímetros hasta varios metros. Es típico de las turberas (zonas pantanosas). En Guipúzcoa no hay turberas citadas y se habla de algunas localizaciones puntuales en Jaizkibel (Guipúzcoa).

3.3.2. Horizonte O (*orgánico*)

Formado también por acumulación de restos vegetales. La cantidad de materia orgánica es igual a la del caso anterior, pero está libre de agua la mayor parte del año.

Hay descomposición en aerobiosis y el aspecto de las fibras vegetales no es el de unidas, sino el aspecto del tabaco o del café molido. Se subdivide en dos:

O_f =Horizonte O de fermentación. Todavía se diferencian las estructuras vegetales.

O_h =Horizonte O de humificación. Las hojas sufren transformaciones más profundas, se transforman en una masa coloidal, el humus.

Tampoco es frecuente, igual que el anterior.

3.3.3. *Horizonte A*

Horizonte mineral, pero con un contenido en materia orgánica menor del 30% que está humificada e íntimamente asociada con la fracción mineral. La materia orgánica de los Horizontes A está bien descompuesta, o bien está distribuida como partículas finas o bien se presenta como revestimientos sobre las partículas minerales. En consecuencia, los Horizontes A normalmente son más oscuros que los horizontes subyacentes contiguos.

Antes se consideraba al Horizonte O aquí. Podemos diferenciar aquí cinco tipos.

a) A mollico

Es un horizonte en el que la materia orgánica y la mineral están unidas por enlaces químicos, formando complejos órgano-minerales. El grado de saturación de bases es mayor del 50% Humífero; C/N menor que 17. El pH es neutro o muy próximo.

Es un suelo blando (su nombre alude a muelle), cuya estructura no puede ser ni masiva, ni dura.

b) A umbrico

Es como el mollico, mineral rico en materia orgánica. Las diferencias con el anterior son:

1.—La materia orgánica y la mineral están unidas sólo mecánicamente, esta mezcla la realizan los animales del suelo (fecal pellets). Es del color oscuro, generalmente negro, de ahí su nombre, parecido al otro.

2.—El grado de saturación de bases del complejo de cambio es menor del 50%

Abunda mucho en nuestros suelos, más que el mollico.

c) A ócrico

Es un horizonte con un color mucho más claro que los dos anteriores, pues contiene menos materia orgánica que ellos. Su color es pardo ocre. Se encuentra también en Guipúzcoa.

d) A. Antrópico

Producido por la acción del hombre al ser cultivados, pues éste adiciona fertilizantes y modifica su estructura removiéndolos y arándolos.

e) A antrópico plaggen.

Es la tierra de jardín. Se produce en sitios donde existe una acción muy continuada del hombre. Tiene dosis más fuertes de fertilizantes.

El otro tipo de horizontes que vamos a ver son los que no se hayan en superficie, sino por debajo de cualquiera de éstos, a no ser que hayan sido erosionados y aparezcan éstos en superficie.

3.3.4. Horizonte B

Es un horizonte mineral en el cual se van acumulando sustancias solubles procedentes de los horizontes superficiales. Es muy distinto de la roca madre y en él los minerales primarios han sido profundamente transformados o alterados. Está situado debajo del horizonte A. Cuando este horizonte presenta variaciones muy pequeñas en el contenido de arcilla, hierro, aluminio, humus muy escasa y su diferenciación con el horizonte A o con el C es muy pequeña, designaremos a este horizonte como B incipiente.

Los horizontes B, son de clases muy diferentes. Generalmente es necesario establecer el parentesco que existe entre los horizontes que lo rodean para considerar cómo ha sido formado. Por esto se designa a los horizontes B con un sufijo para tener una información sobre su génesis y propiedades. Podemos diferenciar los siguientes tipos:

a) B_c: B cámbico

Es un horizonte de alteración que carece de las propiedades que satisfacen las exigencias de los demás tipos de horizontes B. No presenta colores oscuros. Su límite inferior está por lo menos a 25 cm. de la superficie del suelo. No está coloreado por el humus, sino por los óxidos de hierro resultantes de la alteración.

Es muy corriente.

b) B argílico: B_t

Formado por una acumulación muy grande de arcilla depositada por un proceso de lavado: iluviación. Color pardo o pardo rojizo dependiendo del tipo de arcilla. En suelos muy arcillosos.

Hay otros tipos de horizontes B, pero no entra dentro del ámbito de la siguiente exposición el describirlos.

3.3.5. Horizonte C

Corresponde a la roca en vías de alteración. Es un horizonte mineral distinto de la roca inalterada situada debajo de B, o de A si B no existe.

3.3.6. *Horizonte R*

Roca no alterada situada bajo el perfil y que puede perfectamente no ser la roca madre o serlo parcialmente.

3.4. Perfil

Al conjunto de horizontes del suelo se le llama perfil.

Los horizontes están tanto más diferenciados cuanto más evolucionado es el perfil del suelo. Según el tipo de perfil podemos hablar evolutivamente de los siguientes tipos de suelos:

3.4.1. *Suelos jóvenes*

Son muy superficiales, están todavía muy próximos a la roca madre. No se ha diferenciado ningún tipo de horizonte.

3.4.2. *Suelos poco evolucionados*

Se caracterizan por una capa rica en humus sobre el horizonte C. El perfil es de tipo AC.

Si este suelo sigue evolucionando, se forma un horizonte resultante de la alteración de la roca madre, aunque pobre en materia orgánica; el horizonte B incipiente que se presenta así: (B).

El perfil es entonces de tipo A (B) C.

3.4.3. *Suelos evolucionados*

El perfil es de tipo ABC y corresponde al máximo grado de evolución. Los horizontes superiores se empobrecen en elementos finos o solubles, como consecuencia de su arrastre (eluviación). Se llaman horizontes eluviales o lavados. Al horizonte inferior B se le llama al contrario iluvial o de acumulación, por ser el enriquecido. Pueden existir varios horizontes iluviales de aspecto y estructura diferentes.

Según Kubiena la evolución sería así:

A ® AC ® A(B)C ® ABC

4. FACTORES DE FORMACION EN LA GENESIS DE SUELOS

El suelo se origina a partir de una roca o de un sedimento que no tiene porqué estar consolidado, pero cuando influyen otras variables, saber cuál de ellas es la más importante, es difícil. El geólogo afirma que la roca, el biólogo los organismos, etc.

Cinco son los factores responsables de la edafogénesis. Tres son independientes; el material, la duración de la alteración de dicho material y el clima o los climas sucesivos que se han dado en la evolución de ese suelo.

Hay otros dos factores vinculados con los anteriores, pero que dependen de ellos; la topografía que depende de la roca, de la duración de la alteración y el conjunto de los factores biológicos.

4.1. Influencia de los tipos de roca en la formación del suelo

A pesar de que la roca madre ha sido admitida como uno de los clásicos facotes de formación del suelo, es evidente que el marco geográfico en que se desarrollan los conceptos básicos de la Edafología no ha favorecido su importancia. Smith (1949) señala que la visión zonal explica el escaso interés mostrado por este factor en algunas tendencias de la Edafología en las que se llega a afirmar que rocas diferentes bajo el mismo clima y vegetación originan suelos iguales (suelos climax).

4.1.1. Diferencia entre roca consolidada y material de partida

La primera cuestión a consolidar es si el factor de formación que vamos a considerar aquí en cuenta es la roca consolidada o el material que resulta de las primeras etapas de su alteración.

Si se tiene en cuenta que el material de partida (horizonte C) es el estado inicial del suelo, tiene que considerarse como tal un material desintegrado que es el único que permite el comienzo de los factores propiamente edafogénicos.

Hay que considerar entonces los procesos de formación inducidos por el material de partida, teniendo en cuenta en primer lugar los procesos fundamentales de alteración y disgregación de rocas y posteriormente aquellos más propiamente edafológicos y en los que el tipo de roca influye en algún sentido.

4.1.2. Procesos de alteración físicos, químicos y biológicos

Como fue definida por Reiche (1950) la meteorización es la respuesta del material que está en equilibrio en la litosfera a las condiciones en o próximas

a su contacto con la atmósfera, la hidrosfera y quizá con mayor importancia la biosfera. Se pueden distinguir, según esto, tres tipos principales de procesos: físicos, químicos y biológicos, y aunque estos últimos son en esencia físicos o químicos, se recogen aquí por su particular importancia.

Los procesos físicos incluyen todos los que causan la desintegración de la roca, sin cambios químicos o mineralógicos. De ellos podemos citar los procesos de dilatación-contracción de la roca por cambios de temperatura que originan un sistema de grietas y fisuras. Una vez establecidas las grietas pueden producirse otros fenómenos de desintegración física como es la acción de las raíces o del hielo, produciendo ambos el efecto desintegrador llamado «efecto de cuña».

En resumen, la meteorización física lo que consigue es reducir la masa compacta de roca a una serie de fragmentos todavía de gran tamaño, y sobre todo aquí reside su importancia fundamental, en aumentar con ello la superficie expuesta de la roca, lo que facilita los procesos químicos, que se localizan fundamentalmente en las zonas superficiales. En este proceso se obtienen minerales primarios. Es el proceso característico de climas fríos o desérticos, aunque de un modo general se da en todos los climas.

Los procesos de alteración química son mucho más poderosos que los anteriores, ya que pueden alterar totalmente la naturaleza de la roca. Depende fundamentalmente de la existencia de agua y sobre todo de la presencia en la misma de una serie de agentes como el oxígeno, anhídrido carbónico, ácidos orgánicos, etc., que aumentan considerablemente su poder reactivo.

Se produce una transformación de los minerales primarios, con formación de minerales diferentes a los que había anteriormente que reciben el nombre de minerales secundarios o de neoformación (principalmente son arcillas), cuyo conjunto constituye el llamado «complejo de alteración».

Los procesos de alteración biológicos son en primer lugar las plantas que con sus raíces pueden ejercer una poderosa acción física de la alteración con la presión que desarrollan en su crecimiento radicular. Al mismo tiempo el CO₂ que desprende en su respiración incrementa la reactividad química.

También las materias orgánicas del suelo originan toda una serie de productos orgánicos de su metabolismo que contribuyen poderosamente a la alteración de las rocas.

4.1.3. Minerales primarios y minerales secundarios o de neoformación. Índice de alteración

La alteración de los minerales constituyentes de la roca sigue una secuencia que depende totalmente de sus condiciones de las actuales mayor es su alteración. Se utilizan unas tablas para calcular la estabilidad de los minerales. Así para calcular la estabilidad de los minerales primarios más frecuentes en los suelos se usan las propuestas por Goldich (1938).

Goldich, hizo dos series, una para minerales ferromagnesianos y otra para no ferromagnesianos. En la primera serie al ser minerales básicos (silicatos de hierro y magnesio: olivino, piroxenos y anfíboles) son fácilmente atacables y las rocas formadas por estos minerales (dioritas, grabos, anfíbolitas) son poco resistentes a los procesos de alteración.

Los minerales que están en la serie de no ferromagnesianos se alteran con mayor lentitud. En ella abundan los feldespatos siendo más fácilmente alterables aquellos que poseen calcio, que los feldespatos que poseen potasio.

Las series de estabilidad propuesta por Goldich, son para partículas minerales del tamaño de la arena y el limo. La secuencia de alteración propuesta por Jackson (Jackson et al, 1948) con modificaciones posteriores (Jackson, 1968) es utilizada para conocer la secuencia de alteración de los minerales del tamaño de la arcilla. Esta secuencia se compone de 13 etapas.

Se observa que el cuarzo, en la serie de Goldich, es decir, con un tamaño de partícula limo-arenoso es más resistente que la moscovita (mica blanca), mientras que en la serie de Jackson, es decir, cuando el tamaño del mineral es más pequeño, se invierte el orden en estabilidad. Esto es debido a que el cuarzo cuando tiene un tamaño grueso es muy resistente, pero cuando su tamaño disminuye su solubilidad se ve muy incrementada al aumentar la superficie específica que se asocia al tamaño menor de la partícula. La mica blanca es más estable en el tamaño de la arcilla, a causa del efecto estabilizador de las capas de silicio y aluminio.

De todas formas no hay ninguna trayectoria simple o principal para la alteración. Así bajo un clima con una temporada seca pronunciada, puede producir secuencias muy distintas de minerales arcillosos que un suelo con la misma cantidad de lluvias, pero bien distribuidas a lo largo de todo el año.

Para calcular grado de alteración de un suelo se utiliza el índice de alteración, que es el cociente:

$$\text{Índice de alteración} = \frac{\text{minerales secundarios}}{\text{minerales primarios} + \text{minerales secundarios}}$$

Este cociente puede alcanzar el 100 % en un clima tropical húmedo, pero es muy pequeño en suelos alpinos o desérticos.

4.1.4. Rocas frecuentes en el País Vasco que forman

La composición de las rocas es un factor muy importante en la diferenciación de suelos. Las rocas ácidas son más estables que las básicas porque estas últimas son más ricas en minerales alterables.

Se puede afirmar que la capacidad de un suelo para retener iones, llamada complejo de cambio, se encuentra íntimamente ligada a la composición química de la roca. Cuanto más básica sea, más saturado de bases se encontrará el complejo de cambio, aun cuando esta relación dependerá también del clima y del tiempo de alteración.

Los tipos de rocas más corrientes son:

- a) Calizas
- b) Areniscas
- c) Granitos
- d) Esquistos
- e) Pizarras
- f) Margas
- g) Depósitos aluviales

Las características a nivel general de los suelos sobre estos materiales son:

- a) Calizas y Dolomías

Tienen por definición estos materiales más del 50% de carbonatos, y el resto de la roca se compone de limo y arcilla o de cuarzo, hierro y otros contaminantes. Los suelos procedentes de la alteración de estas rocas sedimentarias se forman a partir de los residuos dejados por la disolución de carbonatos. Así pues, el tipo de suelo formado se relaciona con el tipo predominante de «impurezas» en las calizas y dolomías.

Si las calizas son ricas en arcilla, el resultado son suelos arcillosos e impermeables, con pH y saturación de bases altas. Si la caliza es rica en arena, los suelos formados son de textura gruesa, permeables, ácidos y con un contenido bajo de bases. Si la caliza es rica en impurezas de hierro, como la hematita, el resultado es un suelo rojo, generalmente ácido.

- b) Areniscas

Contienen más del 50% de partículas del tamaño de la arena, predominantemente cuarzo. Las arenas están cementadas por diversos elementos como son el silicio, hierro y carbonatos que junto con las impurezas tales como las micas y los feldspatos tienen una gran influencia en los suelos formados.

Los suelos derivados de las areniscas suelen ser de poco espesor a causa de la naturaleza resistente de la roca madre. La capa freática si existe, usualmente no está cerca de la superficie, a causa de la alta permeabilidad y porosidad del suelo. Poseen una textura gruesa, sobre todo en los horizontes superficiales y son muy permeables. Tienen un contenido bajo de bases y son ácidos.

- c) Granitos

De todas las rocas ígneas intrusivas, el granito es la más común. Está formada por un 20-40% de cuarzo, 25% o menos de feldspato alcalino (normalmente potásicos que se alteran muy lentamente) con cantidades menores de mica moscovita y/o biotita. Puede contener además algunos minerales accesorios. Los suelos formados a partir de su saprolita son ácidos y de bajo contenido en bases, debido al alto contenido en cuarzo de las rocas originales y poseen texturas gruesas. Los suelos suelen ser amarillentos o de color café amarillento, cuando son evolucionados debido al bajo contenido en hierro de la roca madre. Tienen un buen drenaje.

d) Esquistos

Son rocas metamórficas con un origen primario ígneo o sedimentario, en las que se observa una ordenación y disposición paralela de la mayor parte de sus minerales constituyentes. Reciben distintos nombres según sus constituyentes que pueden ser: feldespatos, cuarzos, cantidades pequeñas de mica, a veces carbonato cálcico y silicatos en capas como la caoninita o la ilita.

Se diferencian de las pizarras en que han sufrido un metamorfismo intenso. El tránsito de pizarra a esquisto es muy difícil de apreciar y marcar un límite preciso entre ambas rocas. Sin embargo en los esquistos ya no aparecen fósiles, ni restos de materia orgánica, que se ha transformado en grafito.

Los suelos formados sobre esquistos arcillosos tienen una textura fina, son impermeables, contenido en bases medio y pH bajos debido al intenso lavado que sufren en este clima.

Los hay también de textura limosa con un mayor drenaje cuando contienen cuarzo o sericita (mica).

e) Pizarras

Las hay de naturaleza sedimentaria y de naturaleza metamórfica. Las sedimentarias al estar formadas por la cementación de partículas finas (limos y arcillas) dispuestas en planos paralelos forman suelos de texturas finas, con un drenaje lento. La mayor parte del agua de lluvia es drenada por escorrentía superficial. El pH y el contenido de bases en el complejo de cambio es bajo debido al intenso lavado.

Las pizarras metamórficas, también tienen planos de exfoliación paralelos y se han formado por la acción del calor y la presión sobre pizarras sedimentarias generalmente, con la consecuencia de cambios en su composición física. Las características que se derivan de estas rocas son prácticamente semejantes a la anterior.

f) Margas

Es una roca sedimentaria arcillo-calcárea. Es decir que sus constituyentes calizos son del tamaño de la arcilla. Los suelos formados pertenecen a los descritos anteriormente en el apartado de las calizas arcillosas.

g) Depósitos aluviales

Se encuentran en las llanuras de inundación de nuestros ríos. Al ser materiales sedimentarios transportados, de origen fluvial, se caracterizan por fuertes variaciones en sentido vertical, debido a las alteraciones estacionales o periódicas del régimen fluvial, que en un mismo suelo puede originar sedimentos finos o gruesos. Por tanto se caracterizan por una heterogeneidad textural lo que indica las fases sucesivas del aluvionamiento. Son suelos fértiles, bien provistos de agua durante todo el año, en general con una buena

profundidad efectiva. El inconveniente que ofrecen es el que se deriva de su posición topográfica ocupada, pues al ser ésta llana, en primavera e invierno sufren el efecto de las crecidas y avenidas fluviales.

En resumen podemos decir que la roca madre desempeña una misión muy secundaria a escala mundial, y que se hace más importante cuando se estudian los suelos a menor escala y cuando se desciende cada vez más en las unidades de clasificación.

4.2. Influencia de la topografía o relieve

La forma del terreno es un factor de diferenciación de los suelos. Su estudio lo realiza la Geomorfología. Algunas propiedades como las siguientes, están totalmente relacionadas con la topografía:

- Profundidad del suelo y espesor de los horizontes.
- Contenido en materia orgánica.
- Humedad relativa del perfil.
- Grado de diferenciación de los horizontes.
- Contenido en sales solubles
- Tipo de material inicial,...

4.2.1. *Erosión acelerada y geológica. Teoría de la bio-rexistasia de Erhart (1967)*

Podemos distinguir dos tipos extremos de evolución del relieve:

- La erosión acelerada, debida al ataque mecánico de los agentes climáticos que retiran materiales de las posiciones inclinadas de los terrenos y los deposita en valles y depresiones. La erosión acelerada tiene lugar después de los movimientos tectónicos, de los cambios climáticos y de la intervención del hombre. En pendientes acusadas puede poner en movimiento enormes cantidades de materiales.
- La erosión geológica, es aquella en que la velocidad de desgaste del suelo es lo bastante lenta para que su velocidad de formación, por descomposición de las rocas, compense las pérdidas experimentadas. La erosión geológica, también llamada normal, tiene lugar cuando el clima permite que el suelo quede cubierto por la vegetación protectora.

La teoría de la Bio-rexistasia de Erhart demuestra no sólo la acción de las fases climáticas sucesivas de la edafogénesis sino también la superposición de horizontes de naturaleza y propiedades distintas.

Esta teoría se adapta particularmente bien a la edafogénesis tropical y a la mediterránea (Durand, 1956; Boulaine, 1961).

El período de biostasia caracteriza las fases suficientemente húmedas para favorecer el bosque. Coincide con el período llamado de erosión geológica.

El período de rexistasia (rhaxis viene del griego = ruptura), es una fase en conjunto mucho más seca, con contrastes estacionales más acentuados, va acompañada de una destrucción parcial del bosque; las aguas de escorrentía provocan la erosión más o menos completa de los suelos. Los períodos de erosión acelerada son llamados fases de rexistasia.

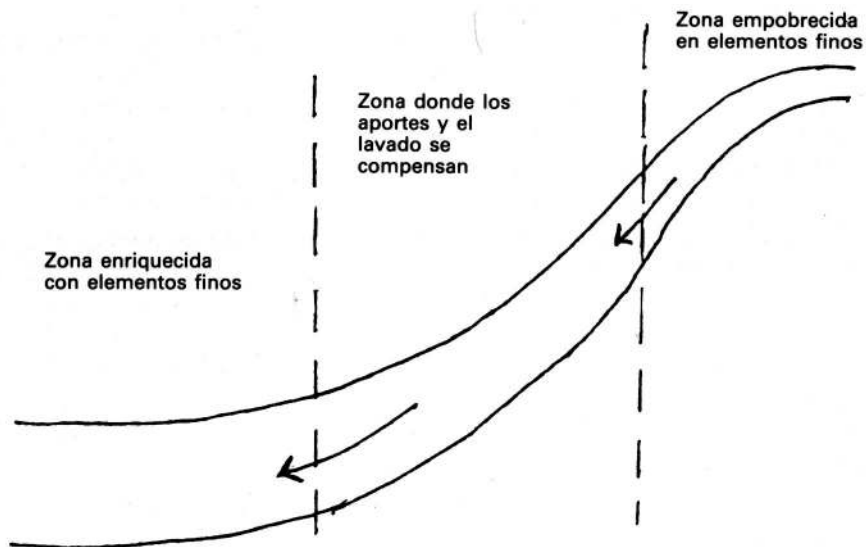
4.2.2. Lavado oblicuo o lateral

Los suelos que ocupan posiciones topográficas inclinadas, en las laderas están sometidos a dos tipos de procesos que se oponen a la evolución del suelo:

1.º Hay una pérdida de los elementos no solubles en el agua que son arrastrados a favor de la pendiente bien por la escorrentía superficial que proviene de las lluvias, bien por los movimientos de soliflucción. Este proceso erosivo rejuvenece constantemente el suelo y pone al descubierto los horizontes profundos o bien la roca madre.

2.º Existe además un «lavado oblicuo o lateral» que arrastra ladera abajo los elementos solubles en el agua, a lo largo de la pendiente; mientras que los elementos gruesos permanecen «in situ». Así la zona superior, de cumbre, es empobrecida en elementos finos lo cual influye en su fertilidad química y en su capacidad de retención de agua. En la zona media se compensan de un lado las pérdidas debidas al lavado con los aportes que recibe de los suelos que ocupan posiciones superiores.

En la base de la pendiente hay un enriquecimiento en elementos finos y la retención y almacenamiento de agua es mayor.



Influencia del lavado oblicuo sobre la evolución de los suelos. Duchaufour (1975)

4.2.3. Acción de la hidromorfía

En las zonas poco drenadas la capa freática altera muchas propiedades físicas y químicas de los suelos:

1.º Predominan las reacciones anaeróbicas o de reducción, debido a la carencia de oxígeno, produciendo la asfixia de las raíces vegetales.

2.º Predomina el desplazamiento lateral del agua en la zona saturada sobre el descenso vertical que está impedido.

En la parte del perfil que está sometida a una saturación prolongada se agua se desarrollan cuerpos grises de una tonalidad cromática de dos o menos (Munsel, 1975), índice de que el hierro está en estado reducido (Fe^{++}). El agua bien oxidada o con un pH elevado no desarrolla los colores grises porque el hierro se mantiene en forma férrica (Fe^{+++}), siendo frecuente cuando el hierro está reducido, la presencia de canales de óxido de hierro en tomo a esas entradas de oxígeno por el hueco excavado por una raíz o durante períodos de secado del suelo.

Al efecto de la topografía, sobre la impermeabilidad superficial debido a la forma de depresión se añade, la presencia de una roca madre dura o arcillosa.

Respecto al segundo punto que se ha mencionado anteriormente, es debido a que el nivel freático tiene relieve y por ello se establece una circulación muy lenta que tiende a producir desplazamientos laterales.

4.2.4. Catenas de suelos

Es una sucesión de suelos ligados genéticamente por una secuencia de drenaje topográfico (Bushnell, 1942).

El resultado del doble proceso erosivo debido al lavado oblicuo y a la erosión, origina un escalonamiento regular de los suelos desde la cima hasta la parte inferior de las pendientes, y sus propiedades se pueden relacionar con las diferentes posiciones ocupadas.

En general las catenas de suelos se estudian bajo el mismo tipo de litología, aunque se puedan estudiar con distintos materiales de partida.

4.3. Influencia del clima

El clima es un promedio de los acontecimientos meteorológicos y como tal, desempeña un papel fundamental en la edafogénesis mediante el régimen de precipitaciones y el de temperaturas. Existe relación entre el tipo de clima y el tipo de alteración, aunque los últimos trabajos de alteración (Pedró, Boirot, Millot) insisten en la importancia de:

- permeabilidad del material
- velocidad de circulación de las soluciones del suelo.

Así Millot atribuye el papel fundamental en la diferenciación de los procesos de alteración a las condiciones de drenaje, en detrimento de las ideas clásicas del papel del clima (Macías, 1980).

Son cada vez más numerosos los ejemplos de que en sistemas bien drenados la tendencia de la alteración es semejante bajo los distintos ambientes climáticos, variando únicamente la velocidad del proceso. Esta nueva concepción está muy cerca de las ideas de Chersworth (1973, 75, 77) en que el clima es un catalizador de la reacción y no la causa de la reacción como aparecía y todavía aparece en muchos esquemas de la distribución de los minerales de la arcilla.

El clima no es invariable. Los climas cambian con el tiempo y aunque los cambios se dan en períodos prolongados, algunos se producen dentro de la edad de algunos suelos (ver el factor tiempo).

4.3.1. Relación entre precipitación y propiedades de los suelos

El agua disuelve los materiales solubles y propicia el crecimiento de plantas y de otros organismos que contribuyen con sus aportes de materia orgánica al enriquecimiento del suelo; transporta materiales de una parte del suelo a otra; rompe físicamente los materiales al congelarse.

El tipo y rapidez de las reacciones en que participa el agua son dependientes de otros factores (temperatura, pH, potencial redox). También depende de la cantidad de agua que se encuentre disponible en el suelo y esto depende del relieve, el cual regula el hecho de que el agua entre o escurra, además también participa la textura y la porosidad.

El lavado intenso de los suelos provoca un aumento de la concentración del ion hidrógeno en el suelo y por tanto el pH disminuye al aumentar las precipitaciones. También el contenido en arcilla de los suelos aumenta conforme lo hacen las lluvias ya que el agua cargada de sustancias químicas ataca y altera los minerales primarios del suelo, transformándolos.

4.3.2. Relación entre temperatura y propiedades de los suelos

La temperatura influye sobre la velocidad de las reacciones. Además ejerce una gran influencia en el tipo y la cantidad de vegetación y por tanto en la cantidad y calidad de la materia orgánica producida. El calor percibido por el Sol depende para un suelo de varios factores:

- según la estación del año
- la nubosidad reduce la insolación (horas de sol anuales)
- orientación de las laderas
- altitud. etc.

Ciertas propiedades del suelo dependen de la temperatura. Al aumentar ésta los colores de los suelos tienden a hacerse menos grises y más rojos, las bases tienen una lixiviación más completa en las zonas cálidas, el contenido en materia orgánica disminuye al aumentar la temperatura y el de la arcilla aumenta.

4.3.3. *Indices climáticos y evapotranspiración. Clima del suelo*

Para describir el clima existen numerosos índices, incluyendo la precipitación y la temperatura que se correlacionan con las características de los suelos. Es difícil que haya una correlación completa debido a los efectos de otros factores. Así el diagrama de Thornthwaite (1948) relaciona la oferta del agua con la demanda del agua del suelo. En él se expresa la evapotranspiración potencial del suelo. Es el agua perdida por evaporación del suelo y por transpiración de las plantas.

Es muy importante también conocer el clima interno del suelo para así obtener un mejor aprovechamiento de las tierras y además porque una gran parte de los procesos edáficos están totalmente condicionados por estos parámetros.

La 7.^a aproximación de la Soil Taxonomy (1977) incluye ya entre los criterios de clasificación el régimen de temperatura del suelo y el de humedad.

Así el régimen de humedad se clasifica en: AQUICO, USTICO, UDICO y XERICO.

Mientras que el régimen de temperaturas se diferencia en: PERGELICO, CRIOLICO, FRIGIDO, MESICO, TERMICO e HIPOTERMICO.

4.3.4. *Paleoclimas*

Al igual que el clima cambia a lo largo del tiempo los suelos también lo hacen en respuesta a los cambios en su ambiente. Es muy difícil interpretar los cambios paleoclimáticos en los suelos. Así es frecuente utilizar minerales de neoformación más alterados que los que debiera esperarse en los ambientes climáticos existentes.

A los suelos que han sufrido más de un tipo climático se les llama suelos policíclicos o relictos.

4.3.5. *Climax del suelo. Concepto de zonalidad*

El climax del suelo es el perfil que está en equilibrio con la vegetación estable, característica de un medio dado y no modificada por el hombre. El

suelo una vez formado pasa por unas fases o grados de juventud sucesivos hasta llegar a la fase de madurez correspondiente al climax estable.

Según este concepto podemos diferenciar los siguientes tipos de suelos:

1.º Suelos zonales: su desarrollo está de acuerdo con las condiciones climáticas de la zona.

2.º Suelos azonales: por ser muy jóvenes o por ser su evolución muy lenta todavía no están de acuerdo con las condiciones actuales.

3.º Suelos intrazonales: no están de acuerdo con el clima actual debido a condiciones locales especiales que pueden ser de tipo físico (encharcamiento) o de tipo químico (salinización del perfil).

4.4. El tiempo como factor de formación

4.4.1. Tiempo cero. Términos de Davis

Se considera como tiempo cero la roca o el material de partida de ese suelo. Se han aplicado a los suelos los términos geomórficos de Davis (1899) es decir juventud, madurez y senilidad.

Según esto los suelos azonales, se pueden considerar jóvenes, los suelos intrazonales, corresponden a los inmaduros; los suelos zonales corresponden a los maduros en equilibrio con el ambiente y por último los suelos seniles son acumulaciones edáficas de materiales inertes como sesquióxidos y minerales pesados.

Un suelo en su evolución puede pasar por estas cuatro etapas, puede quedar indefinidamente en uno de estos estados y hasta incluso puede desaparecer totalmente víctima de la erosión.

Debido a la intensa influencia antrópica, climática, y topográfica nuestros suelos son en general muy poco evolucionados y constantemente rejuvenecidos.

4.4.2. Datación de suelos

Resulta bastante difícil calcular con exactitud el efecto del tiempo como factor de formación. De todas formas se considera al suelo como un recurso u-renovable a escala humana pues su formación es de una gran lentitud. Vamos a ver a continuación varios ejemplos de métodos.

1.º Por análisis polínico (Tortas, 1980). El polen queda enterrado en el suelo. La evolución de la vegetación está ligada íntimamente con las variaciones climáticas y éstas con los suelos. Estas fases actualmente están muy bien conocidas durante el cuaternario.

2.º Mediante el estudio del C^{14} radioactivo, que permite datar la materia orgánica. Es el método de mayor exactitud y con menor error. (González

Gómez, 1983). De todas formas lo importante no es tanto conocer con exactitud la edad de un suelo sino enclavarlo en una era y saber los cambios que ha sufrido.

3.º Anillos de los árboles. Se puede fechar la edad de un suelo por conteo de los anillos de los troncos de los árboles. Así se han fechado algunos suelos (Dickson y Crocker, 1954). Este método no es aplicable a nuestros suelos pues prácticamente no tenemos vegetación autóctona relicta.

4.º Por restos arqueológicos. Estos restos quedan enterrados por depósitos más recientes que los recubren. Este método también es difícil de aplicar a nuestros suelos porque los restos no son muy abundantes.

5.º Según la velocidad de un proceso de alteración característico de un tipo de suelo (Aubert y Leneuf, 1960). Es un método muy complejo y hasta ahora muy poco estudiado.

6.º Por su posición estratigráfica respecto a otro suelo o depósito geológico de edad conocida. Así hay evidencias espectaculares; cuando aparece una línea de piedras (teoría de la boirresistaxia) se relaciona con ciclos erosivos. Esta línea de piedras se formó por erosión y a continuación cesó la erosión. López Echezarreta y Barrios (1983) han encontrado líneas de piedras en suelos aluviales.

En general, se puede decir que para la formación de un suelo maduro se necesitan varios miles de años. Así Aubert (1960) encuentra que para la formación de un suelo tropical en Africa de 1 metro de espesor se necesitan 75.000 años, es decir 750 años/cm. Otros suelos pueden formarse a velocidades muy altas. Así Mohr y Van Baren (1954) estudian un suelo azonal, un entisol, sobre cenizas volcánicas de 35 cm. de profundidad y que necesitó 45 años para formarse, es decir 1,3 años/cm.

4.5. Influencia de los factores biológicos

Son los vegetales, animales, microorganismos y el hombre.

4.5.1. Los vegetales

La vegetación actúa de cuatro modos diferentes sobre la evolución del suelo.

a) Favorece un microclima: el bosque protege al humus por el ambiente sombreado y húmedo. Cuando el bosque se destruye, el humus se descompone rápidamente por efecto de la insolación, y por tanto se pierde la materia que aporta cualidades para la estructura, con lo que ésta se destruye, y al romperse la estructura se provoca una dispersión de los coloides, produciéndose un arrastre con lo que se destruyen los horizontes, en especial los superiores, produciéndose la destrucción del suelo.

b) Por el enraizamiento: además de proteger el suelo contra la erosión favorece la permeabilidad del suelo y su aireación, provocando el lavado de los elementos coloidales y además la subida de los cationes extraídos por las raíces y su concentración en la superficie. Así la alteración es mayor en un bosque que en una pradera, si los demás factores son iguales.

c) Por el humus producido: la vegetación forma humus que además de mejorar la estructura del suelo favorece a la microflora y a la microfauna que obtienen alimento para descomponer.

d) Efecto protector contra la erosión: gracias a que las raíces retienen el suelo.

4.5.2. *Los Microorganismos*

Son transformadores de las sustancias químicas que hay en el suelo, interviniendo así en los ciclos de los elementos químicos (N, C, S, P, Fe, etc.). Aquí no vamos a ver nada de estos ciclos.

La microbiología del suelo es un campo poco conocido. Se desconoce el papel de alguno de estos microorganismos. Se ha observado que los hongos microscópicos además de transformar la materia orgánica, realizan una función de agregación del suelo con sus hifas, provocando microagregados. Hay también bacterias, líquenes microscópicos, etc.

4.5.3. *Animales*

Según su tamaño podemos hacer dos grupos.

a) Mamíferos: se puede decir que ejercen una influencia pequeña, y en algunos casos pueden ocasionar fenómenos erosivos al pastar en suelos de textura arcillosa, cuando están muy húmedos, produciendo la pérdida de la estructura del suelo.

Ciertos micromamíferos son muy importantes. Dentro de estos están los minadores que viven dentro del suelo. Mueven toneladas de suelo a lo largo del año. Como construyen sus galerías entre el horizonte orgánico y el mineral, realizan una mezcla de materia orgánica y mineral, teniendo un papel muy importante en la formación de la estructura del suelo y de sus horizontes.

b) Mesofauna: a este grupo pertenecen en general los animales visibles a simple vista. Viven entre los 0 y 30 cm. de profundidad y tienen una gran dependencia de la temperatura y humedad del suelo; realizan también una labor de mezcla. El más importante es la lombriz de tierra.

La importancia de las lombrices de tierra fue primero hecha resaltar por Darwin en su libro *The Formation of Vegetable Mould through the Action of Worms*, uno de los clásicos de la ciencia del suelo. Sin embargo a pesar de este precoz comienzo se han realizado muy pocos trabajos sobre su ecología.

Son los principales agentes de la mezcla de los residuos superficiales muertos con la masa del suelo, haciéndolos además más accesibles al ataque descomponedor de los microorganismos.

Mejoran la aireación del suelo al construir sus galerías y a la vez la permeabilidad, mejorando la infiltración sobre la escorrentía superficial.

Darwin fue el primero en llamar la atención sobre la gran cantidad de suelo que las lombrices pueden mover en un año. Estimó que las lombrices de tierra en algunos pastos próximos a su casa podían formar una nueva capa de suelo de 18 cm. de espesor en treinta años, o que podían llevar a la superficie cerca de 50 Tm. de suelo por hectárea, cantidad suficiente para formar una capa de 0,5 cm. de profundidad cada año. Esta cifra representa con bastante fidelidad la cantidad de tierra que pueden llevar anualmente a la superficie las especies extractoras.

Ya se están realizando experiencias en España para la cría de la lombriz y la obtención de un abono, que es una mucosa producida por ellas. Se habla de que un kilo equivale a 50 de estiércol (Miguel Martí, 1983).

4.5.4. El Hombre

Es el ser vivo que más influye. Es capaz de mejorar las propiedades de los suelos. Son de todos conocidas las experiencias israelís en los kibutz, las de los holandeses con los polders, etc.

De todas formas predominan los aspectos negativos, dejando al suelo sin defensa contra la erosión, contaminándolo con herbicidas, etc.

BIBLIOGRAFIA

- AUBERT, J.; BOULAIN, J. (1967): *La Pedologie*. Coll. «Que sais-je?» P.U.F. Paris.
Traducción con el título «*La Edafología*». Ed. Oikos-Tau. Barcelona, 1982.
- AUBERT, J.; LENEUF, N. (1960): II Congrès intern. Sci. du sol. Madison.
- BARRIOS, I. (1984): *Estudio de los suelos de un meandro de la llanura aluvial del río Oria*. En preparación.
- BOULAIN, J. (1969): *Sol, Pedon et Genon. Concepts et définitions*. Bull. Association Française pour l'Etude du Sol. Paris.
- CHESORTH, W. (1973): *The parent rock effect in the genesis of soil*. Geoderma. 10:215-225.
- DAVIS, W. M. (1899): *The geographical cycle*. Geograph. J. 14: 481-504.
- DICKSON, B.; CROCKER, R. L. (1954): *A chronosequence of soil and vegetation near Mt. Shasta*. California. Soil Sci. 5:173-91.
- DURAND, J.H. (1956): *Serv. des études scient. Pédol et Agrol*.
- ERHART, H. (1983): *Rev. Arqueología*.
- JACKSON, M.L. (1968): *Weathering of primary and secondary minerals in soils*. Soil. Sci. 4:281-92.
- JENNY, H. (1968): *The image of soil in landscape art, old and new*. Pontificiae Academiae Scientiarum Scripta Varia. 32:947-79.
- LÓPEZ ECHEZARRETA, P. Y BARRIOS FERNÁNDEZ, I. (1983): *Estudio edafológico, en Estudio del medio físico de Enirio-Aralar*. ARANZADI. San Sebastián.
- LÓPEZ ECHEZARRETA, P. Y BARRIOS FERNÁNDEZ, I. (1983): *Estudio edafológico, en Estudio del medio físico del valle de Jaizubia, estuario de Txingudi, montes de Jaizkibel y Peñas de Aya*. ARANZADI. San Sebastián.
- MACÍAS VÁZQUEZ, F. (1980): *Memoria sobre concepto, método y fuentes de Edafología*. Universidad de Santiago.
- MARTI, M. (1983): *Comunicación*.
- MOHR, E.C.J.; VAN BAREN, F.A. (1954): *Tropical soils: a critical study of soil genesis as related to climats, rock and vegetation*. The Royal Tropical Inst. Amsterdam. Interscience, Nueva York.
- MUNSEL SOIL COLOR CHARTS (1975): *Marchet Divission of Kollmorgen Corporation*. Baltimore.
- SIMONSON, R.W. (1958): *Outline of a generalized theory of Soil Genesis*. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 22:152-156.
- SMITH, R. (1949): *The zonal concept and soil classification*. J. Aust. Inst. Agr. Sci. 15, 108.
- SOIL TAXONOMY (1981) (ver U.S.D.A.).
- THORNTHAITE, C.S. (1948). *An approach toward a rational classification of climate*. Geov. Rev. 38:55-94.
- TORRAS TRONCOSO, M.L. (1980): *Métodos polínicos aplicados a la cronología de suelos de Galicia*. Tesis Doctoral. Univ. Santiago. (En preparación).
- U.S.D.A. (1981): *Soil Taxonomy. A basis system of soil classification for making, interpreting soil survey*. Washington.