



Procesos formadores de suelos: transformaciones de materiales

Apellidos, nombre	Ibáñez Asensio, Sara (sibanez@prv.upv.es) Moreno Ramón, Héctor (hecmora@prv.upv.es)
Departamento	Producción Vegetal
Centro	Universitat Politècnica de València

1 Resumen

En este artículo vamos a presentar las ideas clave relativas a la formación de horizontes como consecuencia de la transformación de cualquiera de los componentes del perfil del suelo. La transformación es, junto con la pérdida, la ganancia y la translocación, uno de los cuatro tipos de procesos responsables de la transformación del material parental en un suelo con un perfil organizado en capas u horizontes capaces de sustentar la vida y el crecimiento vegetal.

2 Introducción

El suelo es un cuerpo natural no consolidado, compuesto por materia mineral y orgánica, presente en la superficie de la tierra y capaz de soportar el crecimiento vegetal. Procede de la alteración de la roca o de materiales sedimentarios no consolidados, pero a diferencia de estos, es fuertemente anisotrópico pues presenta una elevada variabilidad espacial en cualquiera de los tres ejes espaciales x , y , z . La transformación de un "no suelo" en suelo (Figura 1) se produce como consecuencia de un conjunto de reacciones y redistribuciones de la materia (orgánica y mineral) que a partir del material originario dan lugar a una horizontalización del material hasta constituir el denominado perfil del suelo. Son las responsables de la formación de los distintos horizontes del suelo, y reciben el nombre genérico de procesos formadores del suelo.



Figura 1. Transformación de un "no suelo" en suelo

Los procesos formadores fundamentales son la *meteorización* en sus diferentes formas y la *horizontalización* pero existen otros muchos procesos que pueden diferenciarse en cuatro tipos en atención a los cambios que se producen en los componentes del suelo, ya sea en sus partículas como en el espacio poroso que hay entre ellas (Figura 2).



Figura 2. Tipos de procesos formadores del suelo

Para entenderlos y estudiarlos resulta clave comprender que el perfil del suelo va cambiando en composición y forma a lo largo del tiempo, a medida que el suelo evoluciona y envejece como consecuencia de la acción de los agentes ambientales externos e internos y de las características y propiedades del material parental, del entorno climático, la topografía y el uso natural o antrópico de la zona (factores formadores del suelo).

El presente artículo se ha estructurado atendiendo a los siguientes puntos:

1. Resumen
2. Introducción
3. Objetivos
4. Desarrollo
5. Cierre
6. Bibliografía

3 Objetivos

El lector de este documento será capaz de:

- Entender las peculiaridades de los procesos formadores de transformación.
- Identificar las formas en las que los materiales se transforman en el suelo, y el tipo de sustancias susceptibles de sufrir cambios en su composición, disposición o forma.
- Aplicar los conocimientos adquiridos a la formación de los horizontes del suelo.

4 Desarrollo

4.1 Conceptos clave

El proceso de transformación en un suelo consiste cambio en composición, estructura o forma de cualquiera de los constituyentes del suelo, ya sea partículas o huecos (Figura 3), y en cualquiera de sus formas (sólida, líquida o gaseosa).

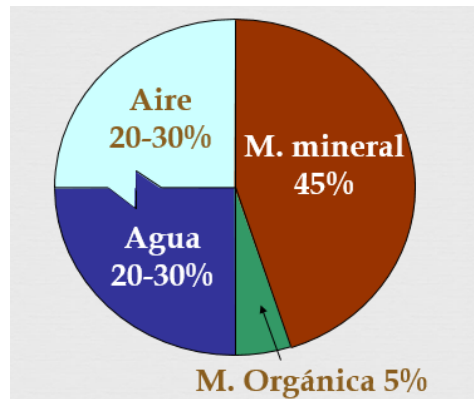


Figura 3. Componentes del suelo

Los procesos de transformación ocurren siempre en el interior del suelo y comprenden multitud de reacciones químicas y alteraciones físicas y biológicas por lo que son muy variados y en general de naturaleza bastante compleja. Su mayor o menor ocurrencia, así como su velocidad, depende del conjunto de variables ambientales de tipo climático, topográfico, edáfico, geológico y biótico imperantes en el lugar de formación del suelo. En la figura 4 se presenta un esquema de los diferentes tipos de materiales susceptibles de incorporación, así como los mecanismos en los que éstas se producen:

- **Descomposición de la materia orgánica**
- **Meteorización química de los minerales**
- **Otras alteraciones "in situ" de los constituyentes del suelo**

Figura 4. Constituyentes susceptibles a sufrir procesos de transformación

4.2 Procesos de transformación en suelos

Los procesos de adición responsables de la formación de los suelos son los siguientes:

4.2.1 Que competen mayoritariamente a la materia orgánica contenida en el suelo

- **Descomposición:** Destrucción bioquímica de la materia mineral y orgánica
- **Humificación:** Formación de **humus** a partir de los materiales orgánicos crudos
- **Mineralización:** Liberación de **minerales** en varias formas durante la descomposición de la materia orgánica

En condiciones aerobias la materia orgánica depositada en el suelo se ve sometida a un proceso bioquímico de transformación que consiste en la destrucción de sus componentes por acción microbiana con consumo de oxígeno (O_2) y producción de dióxido de carbono (CO_2). Los compuestos finales liberados son sales minerales y compuestos orgánicos más simples que los iniciales, los cuales se reorganizan en nuevas sustancias orgánicas durante la humificación (Diccionario multilingüe de la Ciencia del Suelo).

Cuando no hay presencia de oxígeno, es decir en condiciones anaeróbicas, tiene lugar un proceso metabólico redox por medio del cual las sustancias orgánicas se transforman en productos cuyo grado de oxidación medio es el mismo que el de los reactantes de partida, al actuar simultáneamente como dador y como aceptor de electrones. La energía producida es mucho menor que en la respiración. La fermentación de la materia orgánica puede dar lugar a la formación de productos con efectos fitotóxicos, tales como el ácido acético, y a la emisión de biogases con efecto invernadero, como el metano (CH_4).

Estos procesos constituyen una parte importante del ciclo del carbono y liberan además energía, en mayor o menor medida en función de las condiciones de saturación del suelo (Figura 5).

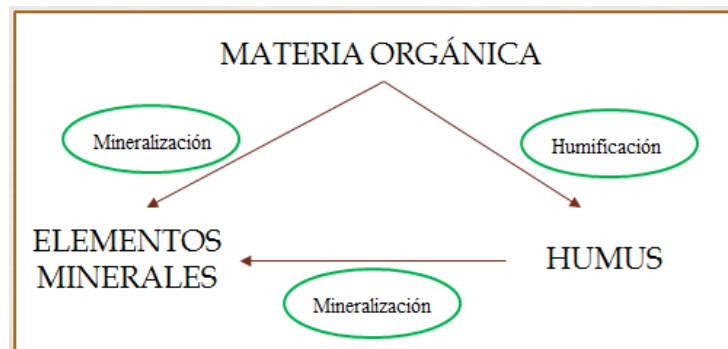


Figura 5. Materiales y procesos de transformación de la materia orgánica

4.2.1 Que competen a la estructura del suelo

- **Dispersión:** Proceso mediante el cual los elementos estructurados del suelo se separan en sus constituyentes dentro de una solución acuosa.
- **Floculación:** Es el proceso mediante el cual las partículas individuales de arcilla se coagulan para formar agregados
- **Agregación:** Estado en el que partículas de diferentes tamaños y formas se mantienen unidas mediante subprocesos físicos, químicos y biológicos
- **Desagregación:** Proceso de rotura de agregados

El Diccionario multilingüe de la Ciencia del Suelo (GloSECS) define la agregación como el proceso por el cual las partículas individuales del suelo (arena, limo y arcilla) se unen y permanecen juntas, generalmente debido a fuerzas electrostáticas, de Van der Waals y la capilaridad. Los polímeros orgánicos derivados de la descomposición de la materia orgánica, los exudados de las raíces y la actividad microbiana aumentan la fuerza de agregación por lo que el proceso de agregación habitualmente es más intenso y duradero en los horizontes superficiales del suelo ricos en materia orgánica (O, H y A).

Los agregados adyacentes se hallan separados entre sí por planos de debilidad, quedando un espacio poroso asociado que es parte constituyente de la estructura edáfica del sistema suelo. La estructura edáfica es una característica diferencial de los suelos y se diferencia claramente de las estructuras litológicas heredadas del material original en las que prima fundamentalmente la ausencia total de la materia orgánica (Figura 6).

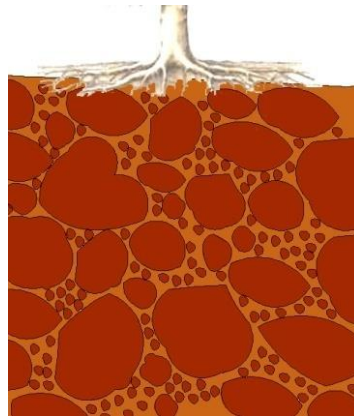


Figura 6. Esquema de la distribución de partículas de suelo de diferentes tamaños y agregados, y del sistema poroso

La entrada de agua en el interior del suelo en ocasiones es causa de su desagregación aunque no vaya precedida de la dispersión de las partículas unidas mediante enlaces más o menos duraderos. El impacto directo de las gotas de lluvia en los suelos desnudos en la mayoría de las ocasiones es capaz de transmitir energía cinética suficiente como para provocar el colapso de los agregados mayores en unidades más pequeñas (menores de 50 μm según

algunos autores). Por otra parte, si la intensidad de la lluvia es elevada al inicio de la tormenta, o el riego se produce por inundación o *a manta*, el aire atrapado dentro de los agregados sale hacia el exterior de forma explosiva, provocando el estallido de los agregados y la rotura de la estructura del suelo (proceso conocido como *slaking*).

En cuanto al proceso físico-químico de dispersión, su ocurrencia en los suelos depende en gran medida, al margen de la necesaria presencia de agua en el espacio poroso, de la naturaleza química de las partículas constituyentes del suelo o, cuando hay riego, de la calidad del agua utilizada. El principal agente dispersante en el suelo es el Na^+ , pues es capaz de contrarrestar la acción de los agentes floculantes naturales del suelo como son el catión Ca^{+2} y la propia materia orgánica y otras sustancias asociadas a la acción biótica de los organismos del suelo.

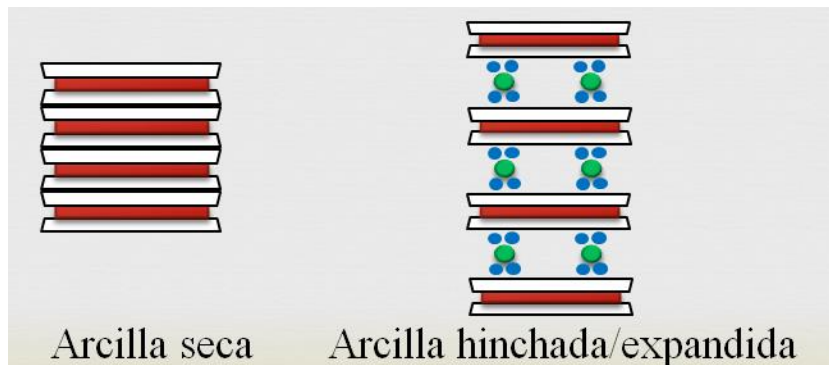


Figura 7. Esquema de la posición de las moléculas de agua en el espacio interlaminar de los minerales de la arcilla

Al aumentar la concentración de Na^+ en la fase líquida, el Ca^{2+} que habitualmente ocupa las posiciones de intercambio en las superficies exteriores de las láminas de los minerales de arcilla es sustituido dando lugar al aumento de la separación interlaminar (Figura 7), y con ello, a la dispersión de los agregados).



Figura 8. Aspecto de un suelo que ha sufrido desagregación por efecto dispersante del catión Na^+

Las arcillas dispersas pueden ser translocados en suspensión por el agua del suelo sin haber llegado a colapsar la estructura, pero a medida que aumenta el contenido de Na^+ en las posiciones de intercambio el aumento de la inestabilidad de la estructura del suelo se incrementa desembocando en su colapso final. Los suelos sódicos se caracterizan por presentar estructura columnar en seco, y masiva al colapsar tras el humedecimiento. En ocasiones la presencia de sodio impide la formación de agregados, generando suelos sin estructura (Figura 8).

4.2.3 Que competen a la porosidad del suelo

- **Compactación o endurecimiento:** Reducción física del espacio poroso que origina un cambio en las propiedades físicas del suelo. Esta reducción habitualmente es debida al relleno de los huecos entre agregados por materiales como arcillas, carbonatos, sílice u otros.
- **Esponjamiento:** Aumento del espacio poroso del suelo debido a actividades biológicas, procesos de congelación/descongelación u otros procesos físicos tales como la remoción del material por lavado o el laboreo.
- **Encostramiento superficial:** Proceso cuyo resultado es la formación de una costra de espesor milimétrico (raramente de hasta unos cm) en la superficie del suelo. La formación de la costra normalmente es por causa mecánica (impacto de las gotas de lluvia) aunque en ocasiones es de origen biológico; en cualquier caso, la costra cuando está seca es más dura y compacta que el material inmediatamente subyacente.

La porosidad del suelo, el tamaño, forma, cantidad y estabilidad de los poros, es un aspecto clave en la regulación del movimiento del agua en el perfil del suelo. Se expresa en unidades de densidad aparente (habitualmente g/cm^3), y depende fundamentalmente de la textura o tamaño de las partículas minerales que componen el suelo, aunque como hemos visto está influenciada en gran medida por la naturaleza y cantidad de materia orgánica y la presencia de cationes dispersantes/floculantes. El manejo y uso del suelo, a través del impacto del ganado y el empleo de maquinaria pesada puede provocar la disminución del espacio de huecos haciendo más difícil la penetración de las raíces, el intercambio gaseoso con la atmósfera y la circulación del agua. Cabe distinguir entre la compactación superficial (hasta unos 35 cm de profundidad) y la compactación subsuperficial o profunda que se produce por debajo del *topsoil* en capas situadas a mayor profundidad, generando en ocasiones la denominada *suela de labor*.

4.2.4. Reacciones químicas de transformación

Incluye el conjunto de reacciones o procesos que provocan la descomposición química, total o parcial, de rocas y de minerales como consecuencia de la acción de la atmósfera, la hidrosfera y la biosfera. Algunos autores consideran que las reacciones de transformación que se producen en el suelo son en realidad de naturaleza biogeoquímica (química, biológica y bioquímica), lo que

resalta la dificultad de establecer de forma separada los efectos debidos a cada uno de ellos. Sin embargo, todas estas reacciones tienen como consecuencia la liberación de materiales solubles y la formación de nuevos minerales a partir de los elementos liberados que permanecen en la solución del suelo sin lavarse hacia las capas profundas. Se especifican en el siguiente cuadro:

Término	Descripción
Acidificación	Acumulación de iones H
Neutralización	Proceso de contrarrestar hidrogeniones
Oxidación	Formación de óxidos o liberación de electrones
Reducción	Pérdida de oxígeno o aceptación de electrones
Solución	Disolución de minerales en la solución del suelo
Hidratación	Absorción de agua para formar un nuevo compuesto el cual se diferencia del estado original del mismo
Deshidratación	Pérdida del agua constitucional de un compuesto
Hidrólisis	Reemplazo de cationes en una estructura mineral por hidrogenación procedente de la solución del suelo
Precipitación	Separación y deposición de una sustancia en forma sólida a partir de una disolución

4.2.5 Que competen a los cambios de color

Además de los procesos de melanización, paludización y leuzinización descritos, otros procesos de transformación que ocurren en el interior del suelo y provocan alteraciones evidentes en su color son:

- **Gleización:** Proceso de reducción del hierro en condiciones de capa freática continua prácticamente todo año. En capa freática fluctuante aparece moteado (oxido-reducción) y segregación de caracteres redoximórficos (Figura 9a).
- **Ferruginación:** Liberación de hierro de los minerales primarios y dispersión de las partículas de óxidos de hierro en cantidades crecientes, las cuales se hidratan u oxidan progresivamente y le confieren a la matriz del suelo una coloración parda, parda rojiza o roja (más rojiza a mayor oxidación). (Figura 9b).
- **Rubefacción:** Deshidratación de los oxido-hidróxidos de hierro ligados a las arcillas silicatadas. Confiere un color rojizo a los suelos y es típico de zonas mediterráneas (Figura 9c).



Figura 9. a) Detalle de la alternancia de colores grises y rojos asociada al moteados en una zona con capa freática fluctuante b) coloración a causa de la oxidación del hierro libre c) Coloración a causa de la deshidratación del hierro asociado a las partículas de arcilla

5 Cierre

A lo largo de este objeto de aprendizaje hemos visto qué son los procesos formadores de transformación y la importancia que tienen en la formación de los horizontes del suelo y el desarrollo del perfil, sobre qué tipo de sustancias actúan y cómo lo hacen, así como enumerado y definido brevemente los diferentes tipos de procesos según la siguiente estructura en el desarrollo:

- 1) Conceptos clave
- 2) Procesos de transformación

Estos conocimientos te serán de gran utilidad a la hora de clasificar un suelo o, simplemente, valorar su idoneidad o aptitud para su puesta en cultivo.

6 Bibliografía

6.1 Libros:

Gisbert, JM; Ibáñez, S: "Génesis de Suelos", Ed. Universitat Politècnica de València, 2002.

Porta, J; López-Acevedo, M; Poch, R.M: "Introducción a la edafología: uso y protección de suelos", Ed. Mundi Prensa, 2011, Madrid.

Porta, J; López-Acevedo, M; Roquero, C: "Edafología para la agricultura y el medio ambiente", Ed. Mundi Prensa, 2003, Madrid.

6.2 Referencias de fuentes electrónicas:

GloSECS. Diccionario Multilingüe de la Ciencia del Suelo. Disponible en: <https://cit.iec.cat/DMCSE/default.asp?opcio=0>