
1. Introducción

Cuando hablamos de cómo se genera un suelo, sabemos que lo hace gradualmente, a partir de rocas puestas al descubierto sobre la superficie de la tierra, luego de un proceso erosivo y/o de alteración grande o porque proviene de deposiciones recientes.

Cuando las rocas (metamórficas, ígneas o sedimentarias) consolidadas o no, afloran a la superficie, el suelo es casi inexistente. Comienzan a actuar sobre ellas entonces, los factores de formación y un suelo comienza a aparecer, a formarse.

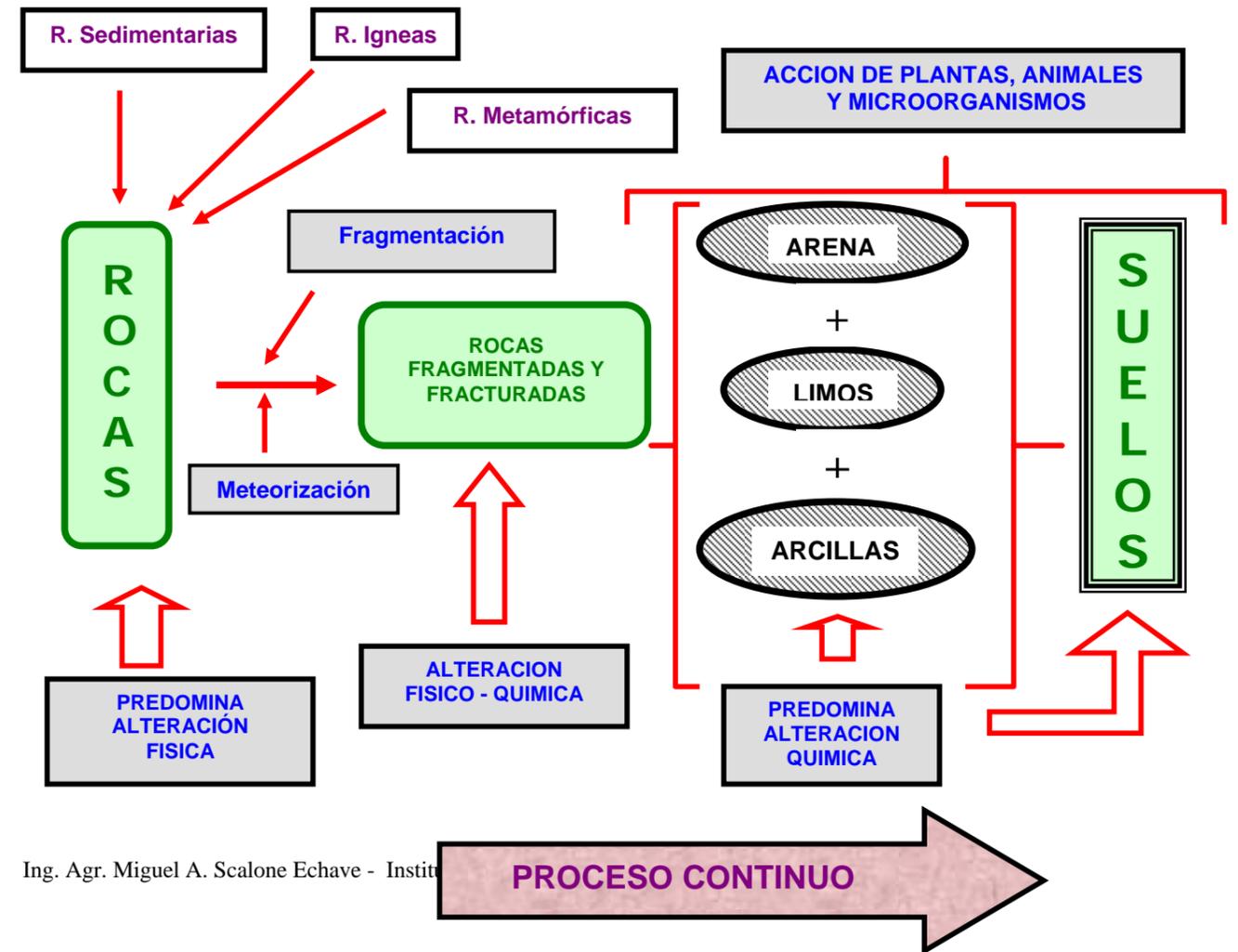
Las características principales de un tipo de suelo muy joven son:

UN SUELO MUY JOVEN:

- ❑ Es poco profundo
- ❑ Se esta “desarrollando” en profundidad
- ❑ Es muy pobre en materia orgánica
- ❑ Contiene en su perfil aún muchos restos de la roca madre con poca o ninguna alteración o con procesos no concluidos.

Con el paso del tiempo (medido en años), ese suelo va evolucionando y se va transformando en un suelo más profundo, rico en Materia Orgánica (MO) y sin restos evidentes de la/s roca/s originales. Para este proceso se supone un suelo que no es afectado por el trabajo del hombre.

Figura N° 1.- Proceso de formación de un suelo a partir de las rocas expuestas



Ing. Agr. Miguel A. Scalone Echave - Instit

Veremos ahora como es que este proceso se va desarrollando, como se forma un suelo, como se profundiza y enriquece en materia orgánica, incluso como se va haciendo fértil y apto para la agricultura.

2. Procesos de formación de los suelos

Como observamos en la **Figura N° 1**, el suelo es el resultado de un largo proceso continuo, que puede decirse que “comienza” en una roca (ígneas, metamórficas o sedimentarias) o en acumulaciones o deposiciones minerales de diferentes tipos (arenas voladas, loess etc), que son “atacadas” por diversos agentes meteorizantes, predominantemente físicos. La consecuencia de este ataque es la fracturación o fragmentación de la/s roca/s en trozos o fragmentos cada vez más pequeños.

El siguiente paso en este proceso, es el ataque químico de los mismos, que se da con mayor intensidad, cuanto más pequeño es el tamaño de sus partículas. Los productos de esta meteorización son arenas, limos y arcillas, donde luego se manifiesta la acción de plantas, animales y microorganismos, al igual que en los suelos, que son una mezcla íntima y compleja de estas partículas minerales con la materia orgánica.

Los principales agentes de alteración y/o ataque son: el agua en todas sus formas (que normalmente lleva en solución: ácidos, sales, iones etc), y todos los componentes del clima como el viento, la temperatura etc.

En el sentido de un individuo, en el conjunto, en el “continuum”, un suelo, es un cuerpo dinámico del paisaje, que soporta (y sustenta) la vegetación. Como nos demuestran las definiciones de suelos presentadas, que son complementarias entre sí, trabajamos entonces en la zona superficial de la corteza terrestre, en donde se encuentran en compleja interacción, los diferentes agentes, pero que van disminuyendo en cuanto a su acción, hacia la profundidad del terreno.

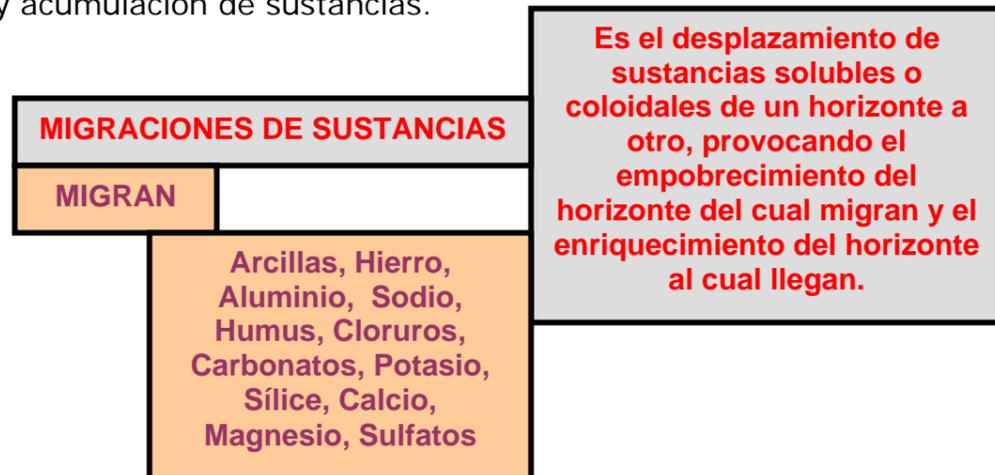
3. Migraciones

A grandes rasgos, entonces, vemos que la evolución de un suelo, se caracteriza por dos cosas:

a) Aumento del tenor de materia orgánica, proveniente de los restos de todo tipo, frescos y/o descompuestos de vegetales y animales que se depositan en el suelo, se van descomponiendo y alterando por la acción de los microorganismos y se incorporan finalmente al suelo.

b) El desplazamiento de elementos bajo la influencia de las corrientes de agua que normalmente circulan por el perfil del suelo.

El agua es la principal responsable del ataque y también de la circulación y posteriormente, del arrastre de los elementos alterados o en proceso de alteración. Estos desplazamientos de sustancias arrastradas por el agua, generan procesos de migración y acumulación de sustancias.



En los procesos pedogenéticos (de formación y desarrollo de un suelo), algunos constituyentes de los productos de alteración de las rocas, son eliminados o traslocados mediante desplazamientos de los mismos en solución o suspensión en la solución del suelo.

Primero entonces, se ha dado una alteración sólo física de las rocas expuestas en la superficie, en la cual simplemente se fragmentan en pedazos cada vez más chicos. Al aumentar la superficie de ataque, se comienza a producir una alteración química de dichos restos, provocándose reacciones químicas muy variadas, que liberan al medio muchos compuestos (ácidos, sales etc.) de diferentes solubilidades y concentraciones, que aceleran los procesos y comienzan a emigrar.

Estos cambios ocurren a lo largo de períodos geológicos de tiempo, cuyas unidades menores, deben medirse en etapas de cientos o quizá de miles de años. Como se decía en capítulos anteriores, unos 8 cms de suelo demoran entre 500 y 1.000 años en formarse aproximadamente.

Los procesos de temperización, alteración física y alteración química, si bien al principio y sólo al principio, ocurren en ese orden y separadamente, luego la propia mecánica, hace que ocurran simultáneamente, dándose superposiciones parciales en el tiempo de alguno o de todos los procesos.

Las migraciones se clasifican según la dirección de traslado en:

3.1. Migraciones descendentes. Son las más comunes en los climas húmedos y generan dos fenómenos contrarios, que forman parte del proceso de lixiviación o lavado:

3.1.1. Eluviación (traslado o arrastre): Es el empobrecimiento de un horizonte por arrastre de sus constituyentes hacia un horizonte inferior.

3.1.2. Iluviación (acumulación): Es el enriquecimiento de un horizonte de sustancias que provienen de otro horizonte.

3.2. Migraciones ascendentes. Son los movimientos de sustancias (no comunes) que se producen por el arrastre (de acuerdo a su solubilidad) hacia arriba, por fenómenos capaces de hacer ascender agua. Estos fenómenos son la capilaridad y la

presencia de una napa freática que sube y baja estacionalmente.

3.3. Migraciones oblicuas. Este tipo de traslado de sustancias son aún más raras y se dan en horizontes permeables afectados por una pendiente, que se encuentra por arriba de un horizonte de menor permeabilidad. Serían un caso extremo de migraciones.

3.4. Factores que influyen en las migraciones.

Los factores que influyen en la migración de sustancias son:

3.4.1. Agua circulante en el suelo

Este factor es el más importante. El agua es el principal agente de alteración y también de arrastre que actúa sobre la roca madre original. Su acción continúa en forma permanente, aún ya formado el suelo y aunque no aparezca más expuesta dicha roca. Provoca entonces lixiviación o lavado y la cantidad de agua y su sentido de desplazamiento, va a regular la naturaleza e intensidad de las migraciones.

El agua y su abundancia o déficit, va a estar íntimamente ligada a las condiciones climáticas de la zona dónde estamos considerando estos procesos migratorios en el suelo. En climas muy secos, casi no se producen migraciones, por lo tanto existe acumulación de las sustancias de alteración (también reducida) en el propio lugar de ataque.

3.4.2. Topografía

En la topografía debemos considerar en forma especial, la inclinación de las pendientes. A mayor inclinación, más agua va a escurrir sobre la superficie y por lo tanto, menor volumen de agua va a infiltrar dentro del perfil de suelo, con lo que se darán menores migraciones. Ver este fenómeno en forma gráfica en la **Figura N° 10 del Capítulo N° 7**. Pero la inclinación de los horizontes sub-superficiales más o menos impermeables, también

condicionarán la migración de las sustancias en el interior del propio suelo.

3.4.3. Permeabilidad de los suelos

Es éste otro factor importante a tener en cuenta. Las migraciones son mayores en suelos de textura gruesa (arenas) que en suelos de texturas finas (arcillas y limos), que en general presentan menor permeabilidad. Pero el depósito o acumulación se produce por el mayor peso de las partículas, más cercano a su lugar de origen.

La presencia de capas arcillosas pesadas, así como suelas de arado o capas endurecidas por diferentes motivos, como el excesivo laboreo durante muchos años, la pérdida de materia orgánica, la circulación excesiva de maquinarias muy pesadas con ruedas inadecuadas, retardan o impiden el movimiento del agua circulante y por lo tanto afectan las migraciones de sustancias.

3.4.4. Presencia de napas freáticas temporales o permanentes.

Las napas freáticas temporales, estacionales o permanentes, que pueden ascender o descender provocando la migración de las sustancias que se desplazan con el agua en solución o suspensión.

Pueden asimismo, provocar condiciones de anaerobiosis o de falta de oxígeno, que afectan en forma temporal el perfil del suelo, provocando reacciones químicas en condiciones de ausencia del O₂. Los óxidos particularmente los de hierro, muestran claramente las condiciones imperantes.

3.4.5. Estado de la materia orgánica y el humus de los suelos.

Podemos asegurar que la mayor o menor cantidad de procesos migratorios, van a depender del porcentaje en que se encuentre cada uno de los siguientes grupos que integran la materia orgánica proveniente de los residuos de plantas y animales:

- ❑ **Ácidos húmicos y fúlvicos.** Son ácidos débiles que se originan en la Materia Orgánica y que actúan como agentes de la estructura del suelo contribuyendo a darle cohesión y cementación a los agregados del perfil. En esta función y como agentes estructurales, retienen sustancias y no permiten que sean arrastradas por el agua circulante (disminuyen las migraciones). Ambos tipos de ácidos presentan algunas diferencias entre ellos.
- ❑ **Compuestos orgánicos solubles.** Estos compuestos en lugar de retener sustancias, las dispersan, favoreciendo su arrastre por el agua circulante y con ello las migraciones.

3.4.6. Actividad biológica

La actividad biológica es otro factor a considerar en las migraciones dentro del perfil de suelos. Hay arrastre de sustancias por la acción de animales cavadores (lombrices, insectos etc) y también hay una importante acción de las raíces (vivas y muertas) de las plantas. Las raíces vivas absorben agua con elementos minerales o sustancias (nutrientes) disueltas en ella. Los nutrientes migran hacia el interior de las plantas y luego vuelven al medio al morir y descomponerse las mismas.

Hay vegetales que producen ácidos orgánicos, que son liberados al medio y que contribuyen a solubilizar y alterar sustancias que rodean los pelos absorbentes radiculares.

O sea que esta actividad biológica tiende a cumplir un rol compensador entre el lavado hídrico y la elevación de sustancias por animales y raíces.

4. Acumulación de sustancias

Los materiales eliminados por eluvación de un horizonte pueden perderse totalmente del perfil (trasladándose a largas distancias) o depositarse

ACUMULACION DE SUSTANCIAS

Provocan el enriquecimiento de un horizonte con sustancias provenientes de otro u otros.

en otro u otros horizontes incluso cercanos. Este es el llamado proceso de acumulación o iluvación.

Las causas de las acumulaciones son la consecuencia de procesos muy complejos que en general se pueden dar en común y que son de origen físico, biológico o químico o combinaciones de ellos. La interacción de estas causas es lo que produce que se acumulen sustancias y se produzca la formación de horizontes de acumulación en los suelos.

Los horizontes que pierden materiales se llaman "eluviales" y los que se enriquecen o ganan materiales, se denominan "iluviales". Podemos distinguir dos tipos de acumulaciones:

➤ **Absolutas.** Son las acumulaciones propiamente dichas. O sea se da un aumento real de sustancias o elementos en un determinado horizonte.

➤ **Relativas.** Son acumulaciones de sustancias debido a la desaparición de otras. Por ejemplo, debido a la desaparición de arena por migración de un horizonte, podemos decir que hay acumulación relativa de arcilla.

4.1. Condiciones generales para la acumulación

Veremos a continuación cuales son las condiciones generales para que se produzca la iluvación o acumulación de sustancias que se trasladan dentro y entre los horizontes. Se producen acumulaciones de sustancias:

❑ Cuando cambian las condiciones del medio en el horizonte dónde se encuentran las sustancias.

❑ Cuando las sustancias pasan de un horizonte permeable a otro menos permeable y dicha menor permeabilidad, frena el movimiento de la solución y favorece que precipiten los elementos que ella contenía.

□ Cuando hay un pasaje de un horizonte con mucho agua a otro con menor contenido de agua, con la consiguiente deposición de las sustancias que dicho líquido arrastraba.

La arcilla lixiviada o "lavada" y arrastrada en forma de partículas minerales muy finas, desde los horizontes superiores, es acumulada en profundidad. El resultado es la diferenciación textural del perfil, formándose una capa superficial de textura más liviana (con poca arcilla) y otra más profunda, pesada y compacta, muy impermeable, con mayor proporción de minerales arcillosos.

Este horizonte de acumulación es el conocido como horizonte B, con depósito de arcilla, humus, hierro etc. Los horizontes superficiales de acumulación de humus pueden formarse en pocas decenas de años. Pero otros, no lo hacen tan rápidamente y se ha estimado que los horizontes B, de acumulación de arcilla (que se dan comúnmente en algunos de nuestros suelos), se forman en períodos de 20.000 o más años.

Una de las migraciones más sencillas y comunes, es la que afecta a las sales de cloruro y sulfato sódico, las que dada su gran solubilidad son difícilmente encontradas en el perfil, pues ya han sido arrastradas a medida que se forman. Mientras que las sales de calcio (Ca), que son algo menos solubles, son más fácilmente encontradas acumuladas en el perfil en diversas formas:

4.2. Formas de las acumulaciones

4.2.1. Repartidas uniformemente entre los constituyentes originales que invaden el perfil. O pueden juntarse en los poros vacíos bajo la forma de:

⊗ **Eflorescencias salinas**, que son más localizadas y siguen planos definidos, pareciendo el micelio de ciertos hongos.

⊗ **Capas finísimas** sobre las caras de los agregados que forman la estructura del suelo. Un ejemplo son las partículas de arcilla.

⊗ **Polvo blanquecino** sobre las caras de separación de los agregados. Como ejemplo tenemos el calcáreo y la sílice.

4.2.1.1. Acumulación en masas duras. De esta forma se acumulan los carbonatos (CaCO_3 etc), los óxidos de hierro, magnesio, aluminio etc. Pueden tener distintas formas, tamaños y estar a diferentes profundidades. Los carbonatos de calcio particularmente, se conocen también como "concreciones o muñecas" por su forma.

4.3. Otros tipos de acumulación de materiales formadores de suelos.

Hay también otro tipo de acumulaciones provocadas por mecanismos externos al suelo, diferentes a los que hemos visto y que tienen también intervención en la formación de los perfiles de suelo. Las denominamos genéricamente formaciones de transporte y entre ellas encontramos:

4.3.1. Aluviales

Es el caso del arrastre de arenas por los vientos sobre un suelo ya formado o del arrastre de arcillas o limos por el agua. Proceden de la estabilización de sustancias sólidas que son transportadas por el agua.

El tamaño del material integrante de este tipo de formaciones aluviales, varía con la velocidad del líquido y su depósito es en orden decreciente a su tamaño.

La forma de los materiales varía con la distancia de traslado. A mayor distancia de su punto de origen, menores son sus ángulos o mayores son sus bordes redondeados.

4.3.2. Glaciales

Aunque no es el caso actual de nuestro país, por lo menos es necesario describirlos aquí en forma resumida, por la significación que tienen en la generación de suelos en diferentes lugares.

Los ventisqueros, producto de los glaciares, que discurren lenta pero en forma continua en las zonas montañosas con un clima adecuado, arrastran y alteran diversos materiales rocosos. Los fragmentos de diferente tamaño que van quedando sobre las superficies heladas, se van hundiendo y depositándose en la base, quedando ordenados de acuerdo a su tamaño, formas (angulosas o redondeadas), peso etc.

En algunos lugares, como al norte del Hemisferio Norte, la aparición de los glaciares, producto de las glaciaciones y de los ventisqueros, ha dejado sobre el material subyacente al deshelarse, grandes cantidades de restos rocosos. Han rellenado valles y depresiones y alisado la topografía, dando lugar a suelos de gran fertilidad.

4.3.3. Coluviales

Tienen escasa importancia desde el punto de vista agrícola. Estas formaciones se originan en los detritus de magnitudes diferentes, que se deslizan por las pendientes, depositándose en las llanuras, denominadas por esto "coluviales".

4.3.4. Eólicas

Materiales finos como el "loess" o bastos como las arenas, pueden ser arrastrados por el viento, dando lugar a acumulaciones que luego pueden generar suelos.

Las dunas de arena volada, se forman en los terrenos llanos de nuestro litoral atlántico, generalmente siguiendo el sentido de los vientos dominantes, en forma similar a como sucede en los desiertos.

Si no hay alguna forma de retención, generalmente artificial (por fijación de dunas arenosas móviles, por ej.), estas formaciones son trasladadas por el viento, acumulándose en otras zonas. Si son retenidas, puede comenzar el largo proceso de edafización o pedogénesis.