

Formaciones Superficiales

Resumen del *Manual de Edafología*
– P. H. Douchafour, 1987 –

Miguel Llorente Isidro

Geología 2002

Universidad de Salamanca

Índice

FRACCIÓN MINERAL.....	3
Introducción.....	3
Procesos fundamentales de la alteración.....	3
Clasificación de los minerales según su tamaño.....	3
Índice de alteración.....	4
Oxihidróxidos.....	4
Ecología de la alteración.....	4
TEMPERATURA DEL SUELO Y EDAFOCLIMA.....	6
Factores de calentamiento superficial del suelo: Suelos cálidos y suelos fríos.....	6
La difusión calorífica en profundidad: Perfiles térmicos.....	6
Acción de la temperatura del suelo y de sus variaciones.....	6
Noción de edafoclima.....	7
COMPLEJO ABSORBENTE Y pH DEL SUELO.....	8
Generalidades, definiciones.....	8
Valores característicos.....	8
La acidez y el pH de los suelos: Poder de amortiguación.....	9
Complejo absorbente y distribución de plantas.....	9
FRACCIÓN ORGÁNICA.....	10
Tipos de humus en bosques.....	10
Compuestos húmicos: fraccionamiento, identificación y estructura.....	10
Humificación = procesos biológicos.....	12
Estabilización físico-química y maduración.....	13
Clasificación bioquímica del humus.....	13
Formación de las asociaciones órgano-minerales.....	13
Ecología de la humificación.....	14
PROPIEDADES GLOBALES DEL SUELO.....	16
Organización de las partículas: estructura, aireación.....	16
Origen de la estructura.....	16
Clasificación de los tipos de estructura.....	17
Aspecto práctico: consistencia y estabilidad de la estructura.....	17
Control del estado de la estructura: porosidad.....	18
Atmósfera de los suelos: gases libres y disueltos.....	18
EL SUELO Y EL AGUA.....	20
Introducción: las formas del agua en el suelo.....	20
La fuerza de succión del suelo sobre el agua: potencial capilar.....	20
Valores característicos: noción de agua útil.....	20
Movimientos del agua en el suelo.....	20
Conclusión: balances del agua, régimen hídrico.....	22
Edafogénesis y clasificación de los suelos.....	23
Evolución de los suelos: factores y procesos.....	23
El factor tiempo: ciclos cortos y ciclos largos.....	23
Factores ecológicos y edafogénesis.....	24
Factor humano.....	25
Conclusión: Diversificación de los suelos dentro de una zona.....	26
Procesos fundamentales de edafogénesis.....	26

FRACCIÓN MINERAL

Introducción

El estudio de la fracción mineral consiste en comparar la composición química de los horizontes del perfil, sobre todo la B, con la roca madre (R). Los niveles primarios (heredados) se alteran y dan los secundarios, que forman la fracción fina. El conjunto de éstos forman el complejo de alteración.

Los productos de alteración se clasifican en:

- Cationes más solubles, que son eliminados por drenaje.
- Cationes menos solubles que dan una forma insoluble.
- Geles mixtos (alúmina y sílice) forman las arcillas cuando cristalizan.

Procesos fundamentales de la alteración

Son procesos físicos y químicos. Entre éstos se encuentran la hidrólisis, la oxidación, hidratación y la disolución.

No es fácil definir el mineral alterado, porque existen todas las formas intermedias entre los minerales primarios y los neoformados.

Los minerales secundarios se dividen en:

- De herencia.
- De transformación.
- De solubilización.
- De neoformación.

La materia orgánica es importante en la transformación y la solubilización, pero no en la neoformación.

Clasificación de los minerales según su tamaño

La granulometría da una valiosa información de la edafogénesis.

Las propiedades físico-químicas del suelo están en relación con la textura y la estructura que influyen a su vez en la fertilidad.

Para hacer un análisis granulométrico se debe hacer sobre tierra fina, destruyendo la materia orgánica. Las partículas gruesas se tamizan, y las finas se separan por decantación. Los carbonatos se disuelven en ácidos.

Los oxihidróxidos forman puentes entre diversas partículas, por lo que cuando abundan se deben eliminar.

Una vez clasificados se realizan curvas acumulativas.

Las partículas se clasifican según el tamaño en piedras y gravas (>2mm), arenas (2mm-50µm), Limos (50µm a 2µm), arcillas o fracción fina (<2µm).

Para clasificación de las texturas, se usa el triángulo de texturas, en porcentajes de arena, limo y arcilla. Así, podemos definir textura arenosa, limosa, arcillosa y equilibrada, Cada uno con más características específicas. Esta última representa el estado óptimo.

La mayoría de los minerales primarios se encuentran en las fracciones limos y arenas. Las fracciones finas vienen representadas sobre todo por minerales secundarios. La caliza se encuentra en todas las fracciones.

Índice de alteración

Se compara el conjunto de alteración con todo el perfil (con la composición inicial).

Estos balances se establecen en función de un elemento invariante, que suele ser el cuarzo, aunque este también sufre disolución en climas tropicales (20%)

Hay dos índices de alteración, el bruto, no tiene en cuenta la pérdidas que se producen en estado soluble, y el corregido, permite evaluar las pérdidas en estado soluble, que pueden sumarse a las de los elementos del complejo de alteración, para dar una evaluación real del grado de alteración.

Oxihidróxidos

Los oxihidróxidos junto con las arcillas, forman el complejo de alteración. Pueden liberarse en la descomposición de forma soluble o insoluble. Otra forma de que se obtenga es por reciclaje de la vegetación hojarascas que vuelven al suelo.

Los oxihidróxidos de Fe provienen de minerales ferromagnesianos, las formas solubles son escasas.

Cuando el suelo está bien aireado forma compuestos insolubles, la materia orgánica hace de freno en el proceso de cristalización óxidos de Fe se integran poco en los estratos de las arcillas. Presentan forma iónica complejada y amorfa.

El Fe^{3+} casi no existe sólo porque forma compuestos $Fe(OH)^{2+}$ ó $Fe(OH)^{3+}$.

En métodos reductores el hierro ferroso Fe^{2+} existe tanto más cuanto mayor sea el pH (ácido) y más bajo el Eh. Puede formar carbonatos de Fe (insolubles) y dando colores verde-azulados.

En medios aireados los iones férricos pasan a insolubles tras varias etapas en función del medio y el tipo de humus.

Es indispensable como oligoelemento para las plantas. Se altera y evoluciona a Mn^{3+} , insoluble y asimilable. Puede llegar a ser tóxico.

Ecología de la alteración

Los factores ecológicos que afectan a la edafogénesis son bioclimáticos generales y los locales. El factor tiempo juega un importante papel.

En regiones predomina la alteración bioquímica. En regiones templadas y húmedas predominan la alteración geoquímica.

Factores bioclimáticos generales

Las variaciones locales de alteración se deben a factores estacionales;

- Alteración bioquímica = climas fríos y templados-mull y mor.
- Alteración geoquímica = climas cálidos, subtropicales, ecuatoriales.

Hay una cristalización de los óxidos liberados y una neoformación de arcillas.

Factores estacionales

Actúan localmente. El agua ácida acelera la alteración en cualquier clima.

- a) Clima templado:

La ácido lisis sólo se realiza en un nivel ácido. La hidrólisis neutra se realiza con humus carbonatado.

- b) Condiciones de drenaje y composición del material.

La alteración en climas húmedos es más rápida en rocas básicas que en ácidas.

- c) Presencia de capas freáticas ácidas.

Estas capas aceleran mucho la alteración y reducen los óxidos de Fe. A veces, solubilizan las arcillas parcialmente. En clima templado, la formación de compuestos agresivos orgánicos activa este proceso.

En climas cálidos la acidificación es de origen mineral.

TEMPERATURA DEL SUELO Y EDAFOCLIMA

La proporción de energía solar que llega al suelo se estima en 144 cal/día/cm², pero esta cantidad varía según la latitud y la época del año, etc. La energía calorífica recibida por el día eleva la temperatura del suelo y evapora el agua y por la noche ocurre el efecto contrario. Por lo tanto ocurre una oscilación diurna de temperatura que es característica de cada suelo.

Factores de calentamiento superficial del suelo: Suelos cálidos y suelos fríos

La variación de la temperatura de los suelos depende de:

- El color: Ya que se calientan antes los suelos más oscuros.
- El contenido en agua: Ya que son necesarias más calorías para elevar la temperatura de un suelo húmedo.
- La cubierta vegetal: Se comporta como una pantalla que amortigua los cambios de temperatura.

La difusión calorífica en profundidad: Perfiles térmicos

Informan sobre la variación de la temperatura del suelo en profundidad.

De su estudio se deduce que en los horizontes profundos las oscilaciones de temperaturas estacionales están retrasadas y amortiguadas con relación a las de los horizontes de superficie.

La conductividad térmica de los suelos varía según su grado de humedad y aireación. Los horizontes húmicos de superficie cuando están bien aireados constituyen una pantalla protectora que se opone tanto a la difusión del vapor como a la del vapor de agua.

Acción de la temperatura del suelo y de sus variaciones

1. Acción sobre la edafogénesis

La temperatura juega un papel esencial tanto en los procesos de alteración como en la descomposición de la hojarasca. La maduración de los compuestos húmicos está muy relacionada con la existencia de periodos secos con fuerte elevación de temperatura. Y la alteración bioquímica de los climas fríos contrasta con la alteración geoquímica de las regiones cálidas.

Además las temperaturas elevadas favorecen el endurecimiento por cimentación de los compuestos férricos y el hielo actúa favoreciendo las estructuras por fragmentación o produciendo crioturbación según sea su intensidad.

2. Acción sobre la vegetación

La distribución de las plantas esta fuertemente afectada por la temperatura de los suelos. Y los efectos que causan la temperatura sobre la fisiología de las plantas son muy adversos cuando es muy extrema.

Noción de edafoclima

La combinación de temperatura, humedad y aireación y sus variaciones, constituyen el edafoclima.

Para un mismo clima general existen numerosos edafoclimas diferentes. Como ejemplo tomemos los edafoclimas sobre calizas jurasicas situados en la cima de una ladera y los situados en la base. Suelos cálidos y secos en la cima y suelos húmedos y fríos en la base.

Algunas clasificaciones concedieron una gran importancia al edafoclima a la hora de definir las subclases, por ejemplo la clasificación francesa de 1967 y la *Soil Taxonomy*.

COMPLEJO ABSORBENTE Y pH DEL SUELO

Generalidades, definiciones

Complejo absorbente se denomina al conjunto de coloides dotados de cargas negativas capaces de retener los cationes de cambio.

Los iones de cambio del complejo absorbente están en equilibrio con la solución del suelo, de tal forma que cualquier cambio en la composición de la solución del suelo provoca un cambio de este equilibrio.

Existen en el complejo absorbente dos grandes categorías de iones retenidos. Por un lado están los generadores de acidez que son el H^+ y el Al^{3+} . Por otro lado están los llamados básicos Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ . Cuando todo el medio está saturado por estos iones, el medio es neutro o incluso ligeramente alcalino.

Valores característicos

Permiten caracterizar el estado del complejo absorbente. Se definen algunos valores característicos.

1. *Capacidad de cambio* (T, CC): Varía con el pH. Se observa que cuando el pH de un suelo aumenta, este es capaz de absorber más nuevas cantidades de Ca. Por esta razón la capacidad de cambio se tiene que medir a $pH=7$. Por el contrario para definir el estado actual del complejo absorbente de un suelo ácido es mejor que el pH sea el natural del suelo. Esto permite definir dos tipos de cargas negativas del complejo absorbente. Las cargas permanentes, que existen al pH del suelo y las cargas variables, que se desarrollan entre el pH del suelo y $pH 7$.

Los compuestos húmicos tienen una capacidad de cambio más alta que las arcillas y constituida sobre todo por cargas variables. Y entre las arcillas, las expandibles son la que presentan más cargas, sobre todo permanentes.

2. *Cationes básicos de cambio*: Para concentraciones iguales en un mismo suelo, los cationes no se absorben igual. Entonces se define la fuerza de intercambio que es función de la valencia. A igual valencia los iones menos hidratados se absorben mejor.

Los fenómenos de dilución influyen también sobre los fenómenos de cambio. Si hay dilución, los cationes monovalentes son cambiados por divalentes y pasan así a la disolución siendo arrastrados por las aguas de drenaje. Esto explica porque en periodos húmedos de climas templados los iones monovalentes son minoritarios incluso cuando son abundantes en el material de origen.

3. *Grado de saturación*: Varía en sentido inverso a T. Un suelo está saturado cuando $S=T$ y por lo tanto $S/T=100\%$ y en estas condiciones no hay ningún ion ácido. Pero en la práctica se admite que un suelo está saturado cuando S/T no baja por debajo de 85-90%.

En los suelos con un complejo desaturado los iones ácidos tienen mayor importancia porque al aumentar la acidez se provoca un descenso de la actividad biológica y además una acción que resulta tóxica para las plantas.

La acidez y el pH de los suelos: Poder de amortiguación

La acidez del suelo se contrapone a la acidez actual, que corresponde a la concentración de iones H^+ libres que existen en la solución del suelo, y también a la acidez potencial que expresa la suma de iones H^+ de cambio.

1. *Relaciones entre el pH y el complejo absorbente:* El pH permite definir el grado de saturación.

Cuando iones básicos y ácidos están equilibrados, el pH es intermedio. Los estudios demuestran que existe una relación entre el pH y el grado de saturación. La correlación es grande en los dos extremos (ácido y neutros) pero no en los valores intermedios. Esto se debe a que los iones ácidos son variados y cada uno genera un pH diferente. Esta observación permite contraponer la acidez orgánica (muy fuerte) a la acidez mineral (del orden de 4,5). Permite saber también porque suelos con un mismo pH pueden tener grados de saturación diferentes.

La naturaleza de los cationes básicos varía muy poco en la mayoría de los suelos y no suele influir en el pH excepto en suelos muy sódicos cuyo pH puede pasar de 9 debido a la hidrólisis de las arcillas sódicas que provocan una alcalinización del medio.

2. *Variaciones estacionales del pH y del grado de saturación:* El pH y el grado de saturación del suelo varían según la estación del año. En los medios no cultivados el pH y el grado de saturación oscilan periódicamente. En los mull, la fuerte nitrificación en primavera rebaja el pH mientras que en periodo invernal la dilución de los iones H^+ de la solución del suelo tienden a elevarlo. Las desecaciones estacionales de los climas continentales o mediterráneos provocan una restauración en calcio y por lo tanto una subida del pH por ascenso capilar del mismo.

3. *Poder de amortiguación de los suelos:* El suelo se opone a las variaciones bruscas del pH cuando se le incorporan ácidos o bases.

- a) Los suelos mejor tamponados son los que contienen mucha materia orgánica y caliza activa. Su pH varía de 6,5 a 7,5 según la presión de CO_2 correspondiente a la época del año
- b) Los suelos bien tamponados frente a los ácidos son los que contienen abundante calcio.
- c) Los suelos ácidos están tamponados frente a las bases en la medida en que la capacidad de cambio sea elevada.

Complejo absorbente y distribución de plantas

El estado del complejo absorbente tiene una influencia grande sobre la distribución de las plantas. Esquemáticamente se contraponen las especies neutrofilas, que no resisten una concentración alta de iones Al^{3+} , a las plantas acidófilas, que no aceptan complejos saturados en iones Ca^{2+} . Entre las neutrofilas están por ejemplo el arce menor y entre las acidófilas están los brezos y rododendros.

La noción de Calcícolas-calcífugas se confunde a veces con la de acidófilas y neutrofilas, aunque en realidad sean dos conceptos muy diferentes, ya que la primera hace referencia a la presencia o ausencia de caliza activa en el suelo.

FRACCIÓN ORGÁNICA

Existe una relación en la evolución de la materia orgánica y la de la materia mineral. La primera genera el humus y la segunda las arcillas.

El humus son restos vegetales y animales que se superponen al suelo mineral o se incorporan a él. La alteración de la materia orgánica consiste en una descomposición de las moléculas complejas en formas más simples y solubles. Parte de ellas se mineralizan (se transforma en inorgánica). Otra parte forma moléculas nuevas, más complejas cada vez, de color oscuro y coloidales, que es la humificación.

En laboratorio se evalúa la velocidad de mineralización del C.

Tipos de humus en bosques

Es donde se define los tipos de humus más fácilmente. Se clasifican según sus caracteres morfológicos, ligados a la acción biológica y a los enlaces órgano-minerales de los compuestos húmicos, típicos del horizonte mixto As ó Ab.

- Humus poco activos, mor o moder, tienen horizonte L y Ao, formada por MOF poco transformada, superpuestos al suelo mineral. La humificación es débil. El horizonte Ao está dividido en F (capa de fermentación) y H (negra sin estructura visible).
- Humus activo, mull. La descomposición de la hojarasca es rápida. No hay horizonte Ao. Los enlaces órgano-mineral son estables, dando lugar a una estructura aireada, característica del A1. Tipos:
 - ∴ Mull ácido: suelo pardo ácido, bosque de frondosas. A1 de poco espesor, grumos de tamaño medio.
 - ∴ Mull carbonatado: medio calizo. A1 oscuro y grueso. Grumos gruesos.
 - ∴ Mull ándico: sobre cenizas volcánicas. A1 muy oscuro y muy grueso. Agregados finos.

En medios mal aireados, falta oxígeno: mineralización primaria ralentizada. La materia orgánica fresca se acumula, humificación incompleta. Forma turbas (anaerobiosis) y anmoor (poco anaerobiosis).

Compuestos húmicos: fraccionamiento, identificación y estructura

Para extraer los compuestos húmicos en laboratorios, se usan disoluciones alcalinas, dando ácidos húmicos (AH) en precipitados pardos, y los ácidos fúlvicos (AF), en disolución. Los AH se subdividen a su vez según el grado de condensación.

Humina: Fracción no extraíble de la fracción no humificada. Se dividen en huminas jóvenes (microbianas y compuestos alifáticos, y formadores de los constituyentes de las membranas vegetales) y huminas evolucionadas (menos solubles que los ácidos húmicos).

Todos estos compuestos están formados por núcleos aromáticos unidos por cadenas alifáticas, y por grupos funcionales ácidos.

Para extraer los compuestos húmicos en los laboratorios, se usan disoluciones alcalinas, dando ácidos húmicos (AH) en precipitados pardos, y los ácidos fúlvicos (AF) en disolución. Los AH se subdividen a su vez según el grado de condensación.

Humina = fracción no extraíble de la fracción humificada. Se dividen en huminas jóvenes (microbianas y con compuestos alifáticos, y formadores de los constituyentes de las membranas vegetales) y huminas evolucionadas (menos solubles que los ácidos húmicos).

Todos estos compuestos están formados por núcleos aromáticos unidos por cadenas alifáticas, y por grupos funcionales ácidos.

Materia prima del humus: Origen de la materia orgánica fresca

Va a ser diferente en un suelo con vegetación permanente y en los bordes de cultivo.

En suelos forestales, se remueve la materia orgánica fresca (MOF) anualmente en el periodo de caída de hojas y es reciclada. Si existe vegetación herbácea, ésta favorece la descomposición y formación del mull.

Si el suelo es de una formación herbácea, las raíces se descomponen y participan en la humificación.

En suelos agrícolas, el aporte de la MOF es discontinuo. Depende del hombre (estiércol, pajas, abonos...) Cuando el aporte es mínimo e insuficiente, la reserva de humus disminuye, degradándose el suelo y sus propiedades físico-químicas.

Materia prima del humus: Composición de la MOF

Ésta juega un importante papel en la velocidad de su descomposición. Existe una hojarasca, rica en el N, dando mull, y hojarasca acidificante, dando moder o mor, y se descompone con dificultad. Algunos componentes activan la vida microbiana, acelerando la descomposición, otros la retrasan.

- Factores positivos: Riqueza en N, relación con el carbono, hidratos de carbono, taninos hidrosolubles, celulosa, polisacáridos...
- Factores negativos: Poco contenido en N, relación C / N elevada, lignina, lípidos, taninos condensados.

La hojarasca de las frondosas como roble y haya, con relación C / N de 40, es más favorable a la humificación que a la mineralización. La descomposición de la hojarasca se sigue en los siguientes pasos:

- A) Modificaciones bioquímicas (empobrecimiento de la hoja).
- B) División mecánica y enterramiento de las hojas por los organismos.
- C) Descomposición encimática por microbios de las moléculas complejas.

Al descomponerse la MOF la relación C / N desciende.

Humificación = procesos biológicos

La fase biológica de la humificación se produce en pocos años. Posteriormente encontramos una fase muy lenta, la maduración climática, afectando a parte de los compuestos formados en la primera etapa.

El ritmo de humificación está en función de la actividad biológica del medio la caliza activa ralentiza esta fase.

Si la humificación es muy rápida, se produce la neoformación. Si por el contrario es lenta, se producen productos intermedios entre la MOF y los compuestos húmicos = transformación parcial.

1. Neoformación

a) Compuestos húmicos con núcleos aromáticos.

Por la degradación de la lignina y los taninos, se producen los precursores fenólicos. Éstos dan polímeros, aumentando de tamaño las moléculas, y disminuye su solubilidad. Esto depende de la actividad orgánica del medio (favorecida ésta por pH elevado y riqueza en N). (También es favorecida por cationes como Ca^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+})

- Ca^{2+} Actúa insolubilizando los precursores, pero no sobre la polimerización de los núcleos. Bloquea la mineralización de los AF.
- Fe^{3+} y Al^{3+} Están en forma hidroxilida poco soluble. Son absorbidos en la superficie de las arcillas. Insolubilizan, polimerizan y "anclan" los compuestos húmicos de las partículas de arcilla.

Cuando Ca^{2+} , Al^{3+} y Fe^{3+} y las arcillas están en cantidad suficiente en el medio, los precursores fenólicos se mantienen en forma soluble, y emigran, provocando la podsolización.

b) Huminas microbianas alifáticas

Abundan en medios poco ácidos y enriquecidos en alimentos energéticos biodegradables. La biomasa da lugar a compuestos alifáticos en cadenas. Son estructuras de cierta duración porque se biodegradan rápidamente.

2. Humificación por herencia y transformación

Se forma la humina heredada, todavía semejante a la MOF (lignina).

La lignina no se descompone, sino que se oxida parcialmente (aparecen grupos $-\text{COOH}$), y facilita enlaces más estables en las arcillas.

La humina heredada abunda en medios con poca actividad biológica, muy ácidos, y en los mull carbonatados, ricos en caliza activa, que precipitan los carbonatos en finas películas alrededor de la MOF, dificultando su biodegradación.

Estabilización físico-química y maduración

El medio mineral ejerce una acción inmediata de protección frente a los agentes de mineralización. La estabilización físico-química rápida, hay una maduración lenta de los compuestos húmicos formados, favorecidos por cambios bruscos de temperatura y la existencia de arcillas expandidas.

1. Estabilización físico-química

Depende del medio mineral que ha regido los procesos de insolubilización débil en mull silicatados ácidos.

Intermedia en suelos saturados en calcio. LA estabilización por la fracción activa de los alófanos es considerable.

2. Maduración climática

Proceso de evolución producido por alternancia de fases de sequía. La fracción del humus puede llegar a ser inerte. La M.O. puede llegar a resistir 3000-4000 años.

La materia orgánica estabilizada por vía climática consta de:

- Fracción aromática, policondensada, formada por evolución de huminas neoformadas.
- Fracción alifática, intercaladas entre capas de arcillas expandibles.

Clasificación bioquímica del humus

El grado de evolución está ligado a la neoformación y a la transformación o herencia.

Humus evolucionado (mull) = turnover rápido de los compuestos húmicos.

Se llega a una clasificación:

Humus poco evolucionados: (Transformación predominante)	- débil actividad biológica (moder, mor). - fuerte actividad biológica (mull carbonatado).
Humus evolucionados: (neoformación predominante)	- turnover rápido = mull ácido y mesotrófico - turnover medio = mull cálcico - turnover lento = mull ácido
Humus muy evolucionados	compuestos negros con fuerte maduración

Formación de las asociaciones órgano-minerales

Gran relación humus-contexto mineral.

Estas asociaciones condicionan el conjunto de las propiedades del suelo y de los procesos de edafogénesis

1. Influencia del contenido en arcilla y cationes floclantes

- a) Medios ácidos, pobres en arcillas y cationes Ca, Fe, Al, Mg; los precursores fenólicos no son degradados en superficie. Solubles, emigran a profundidad, formando quelatos móviles. Humus moderado o mor. Se trata de la podsolización.
- b) Medios con algo de arcillas y cationes.

Se forman agregados húmicos-arcillosos floclados (mull)

Dos casos:

- En medios periódicamente mal aireados. Algo de materia soluble puede formar películas protectoras alrededor de las arcillas, facilitando su dispersión, habiendo un arrastre limitado de las arcillas finas (lavado).
- En medios muy aireados, con gran actividad biológica. La materia orgánica es biodegradada rápidamente. No se lava la arcilla.

2. Influencia del pH y del tipo de humus

De esto depende la naturaleza de los agregados floclados.

- a) Medios ácidos y aireados.

Los agentes son los compuestos neoformados, con núcleos aromáticos.

- b) Medios saturados en Ca^{2+} , con compuestos orgánicos ricos en N.

Las húmicas microbianas juegan el papel principal.

- c) Medios con caliza activa.

Tienen estructura estable, exentos de lavados. Las películas de carbonato inmovilizan y protegen contra la biodegradación a las húmicas microbianas y las partículas de materia orgánica poco transformada.

Ecología de la humificación

El tipo de humus depende de la MOF y las condiciones ecológicas extremas (clima, materia mineral y economía del agua).

1. Conjuntos bioclimáticos

Las zonas climáticas de las llanuras continentales, con limos y morrenas, con orientación E-O, han sido tomadas como ejemplo.

De norte a sur, se encuentra un moderado, y un mull castaño. En bosques, es importante el efecto hojarasca, y más al sur, predomina el efecto rizosfera y la maduración.

2. Factores estacionales y acción humana

- a) El clima local ligado a la orientación;

Es importante en zonas montañosas, influyendo la temperatura, y el contenido en agua de los horizontes gumíferos.

b) Acción del material mineral;

La composición del material mineral orienta la humificación de forma determinante.

- El contenido en Fe libre y en arcilla sobrepasa un límite, se observa una convergencia de la humificación ligada al empardecimiento (mull mesotrófico)
- Si el material tiene composición particular, con asociaciones especializadas, la humificación adquiere una dirección divergente, con relación al empardecimiento.

c) Economía del agua;

Es importante cuando satura los poros y provocan condiciones de asfixia, ralentizando la mineralización primaria y la humificación al mismo tiempo. Se observa la sucesión mull-hidromull-anmoor-turba.

d) Acción del hombre;

- Directa, por deforestación y cultivo, provocando un cambio profundo del humus natural, formándose el horizonte Ap, caracterizado por la pérdida de fracciones más lábiles del humus, y con alto Ph = suelo pardo ácido resaturado.
- Indirecta, más lenta, por degradación de los bosques naturales, que son sustituidos por landas de brezos. Esto es frecuente en llanuras arenosas de clima atlántico. Da lugar a una podsolización secundaria. Se desarrolla un podsol férrico húmico con mor.

PROPIEDADES GLOBALES DEL SUELO

Organización de las partículas: estructura, aireación

La estructura del suelo, indica el modo de agregación de las partículas, tanto a escala macroscópica como microscópica.

La estructura determina la distribución en el espacio de la materia sólida y de los espacios vacíos, condicionando las propiedades físicas fundamentales del suelo.

- Poros gruesos; su volumen define la capacidad de aire.
- Poros medios; agua útil.
- Poros finos; agua ligada.

La porosidad total se subdivide en: porosidad no capilar y porosidad capilar.

Origen de la estructura

La estructura resulta de procesos de distinta naturaleza: biológicos, químicos, físicos y mecánicos; el predominio de uno u otro proceso da origen a los diferentes tipos de estructura. (Cementos floculados, agregados separados, particular).

1. Estado de los "coloides": Formación de los cementos

Los coloides electronegativos - arcillas y compuestos húmicos - representan la fracción más importante de los cementos se pueden encontrar dispersos o floculados.

2. Estructuras construidas, de origen Biológico

En los horizontes organo-minerales la estructura refleja la actividad biológica global.

Las estructuras construidas son complejas, están formadas por "agregados elementales".

3. Estructuras con cementos de origen químico

Son cementos de diversa naturaleza, formados por precipitación e insolubilización de compuestos solubles. Según la naturaleza y el estado del cemento químico, la estructura puede ser suelta, masiva o dura.

Algunas estructuras son mixtas y resultan de la combinación de una de origen biológico y de un proceso químico.

4. Estructura de origen físico y mecánico. (Fragmentación)

Las que resultan del cambio de volumen que experimentan las arcillas, en periodos alternativos secos y húmedos. Son típicos de los medios ricos en arcillas y pobres en humus. La forma de las unidades depende del edafoclima y del tipo de arcilla.

Clasificación de los tipos de estructura

Clasificación genética

- Estructura particular suelta.
- Estructura masiva o coherente.
- Estructuras construidas:
 - o Grumos irregulares, granular o granuda.
 - o Agregados finos.
- Estructura con cementos químicos:
 - o Caliza.
 - o Orgánico; alios húmicos.
 - o Hidratos de hierro y de alumina; alios ferruginosos, corazas ferruginosas o ferriálficas caliza.
- Estructuras mixtas.
- Estructuras por fragmentación.

Aspecto práctico: consistencia y estabilidad de la estructura

1. Consistencia

Indica la cohesión y la resistencia a la presión de las unidades estructurales. Varía en función de la granulometría y del tipo y estabilidad de la estructura. Puede ser diferente según el grado de humedad del suelo. Suelto, friable, coherente y duro son adjetivos que indican una resistencia creciente a la presión.

La consistencia es importante ya que condiciona el enraizamiento y las posibilidades de trabajo del suelo.

2. Estabilidad de la estructura.

Factores de degradación más comunes:

- Expansión de las arcillas - periodos húmedos - degradación de las estructuras fragmentadas.
- Lluvias violentas, diluyen los cationes floculantes dispersando los cementos, provoca el "glaseado de los suelos".
- Pérdida de los cementos orgánicos más eficaces por rápida biodegradación.
- Acidificación y cambio del estado del humus, acompañado de compactación y disminución de la aireación.

Control del estado de la estructura: porosidad

La porosidad, es la mejor expresión del estado de la estructura en un momento dado y proporciona información esencial sobre las propiedades físicas.

La porosidad (P) está en relación con: la densidad real (D) y la densidad aparente (D').

$$P = \frac{D - D'}{D} \% \text{ Porosidad total}$$

- *Porosidad capilar o capacidad de agua*: capacidad de campo \times D'.
- *Capacidad en aire*: diferencia entre la porosidad total y la capilar.

Indicaciones dadas por la porosidad: Diagramas de porosidad que están relacionados con la textura y con la estructura.

Atmósfera de los suelos: gases libres y disueltos

El oxígeno condiciona la respiración de las raíces y de los organismos del suelo e interviene también en las reacciones de oxidación características de la edafogénesis.

El dióxido de carbono, CO₂, es producto de la actividad respiratoria.

Estos dos gases forman parte de la atmósfera del suelo y con la solución del suelo tienden a establecer un equilibrio, al menos en los horizontes superiores.

Los intercambios funcionan cuando el suelo tiene una estructura favorable y una fuerte porosidad.

La medida del potencial de oxido-reducción del suelo permite, apreciar de una forma precisa el estado del suelo, también la observación del estado de los óxidos de hierro en los diferentes horizontes, por su distribución y color.

1. Gases libres

La atmósfera de un suelo bien aireado contiene un poco menos de oxígeno que la atmósfera exterior y contiene mucho más CO₂.

En los horizontes profundos, los intercambios gaseosos con la atmósfera terrestre son más aleatorios.

2. Potencial de oxido-reducción (Eh)

Es la expresión en milivoltios del potencial eléctrico que resulta del transporte de electrones entre un dador y un aceptor.

- Oxidación; incorporación de oxígeno o liberación de electrones.
- Reducción; pérdida de oxígeno o incorporación de electrones.
- ✓ Eh 450 a 800 mV. Oxígeno presente en cantidad suficiente, tanto en estado gaseoso como disuelto; reacciones de oxidación.

- ✓ Eh 450 a 0 mV. "anaerobiosis facultativa"; el oxígeno gaseoso o disuelto desciende por debajo de un nivel crítico, siendo sustituido en cierta manera por la intervención de los dadores de electrones, favoreciendo la reducción.
- ✓ Eh negativo 0 a -300 mV. "anaerobiosis estricta", medio reductor, color gris verdoso.

3. Aplicaciones: Respiración de las raíces

Cuando el oxígeno gaseoso es insuficiente porque todos los poros están saturados, la mayoría de las especies vegetales utilizan el oxígeno presente en estado disuelto. Cuando también falta el oxígeno disuelto, anaerobiosis facultativa, la supervivencia de las especies vegetales es precaria y sólo las especies resistentes a la asfixia soportan la anaerobiosis estricta.

EL SUELO Y EL AGUA

Introducción: las formas del agua en el suelo

El agua del suelo interviene en la nutrición de las plantas y es uno de los principales factores de la edafogénesis.

La fuente principal del agua del suelo es el agua de precipitación y también el agua subterránea.

Formas de agua:

- Agua de escorrentía, superficial.
- Agua de gravitación, se infiltra por la gravedad y circula por los poros gruesos. Puede ser de flujo rápido o lento.
- Agua retenida por el suelo durante la infiltración de las lluvias.
 - o agua capilar absorbible por las raíces.
 - o Agua ligada, no es absorbible por las raíces.

La fuerza de succión del suelo sobre el agua: potencial capilar

El suelo retiene el agua con una energía variable; esta fuerza depende: de la cantidad de agua retenida y de la superficie de las partículas sólidas. Para una cantidad de agua determinada, la fuerza de succión es tanto mayor, cuanto más fina es la granulometría.

La fuerza de succión del suelo para el agua se denomina "potencial capilar" y su logaritmo es pF.

Valores característicos: noción de agua útil

El método de medida más utilizado consiste en aplicar a una muestra de suelo humedecido, la presión correspondiente al pF que caracteriza la forma de agua que se quiere medir, con lo cual se expulsa el agua excedente.

Valores con importancia:

- *Capacidad da campo (c)*: máxima cantidad de agua retenida por el suelo (capilar + ligada) pF = 2,5.
- *Punto de marchitamiento (f)*: valor límite del agua ligada, no absorbible por las raíces, pF = 4,2.
- *Agua útil*: es la cantidad de agua almacenada por el suelo después de un periodo de lluvias, (c-f).

Movimientos del agua en el suelo

La escorrentía y el drenaje oblicuo son casos particulares y los movimientos del agua en el suelo dependen de dos procesos opuestos:

- Movimientos descendentes del agua de gravitación relacionado con la permeabilidad del perfil.
- Movimientos ascendentes, se producen en periodos secos.

La distribución del agua en profundidad, es la resultante de estos dos procesos.

1. Movimientos descendentes del agua de gravitación: Permeabilidad

La permeabilidad es la velocidad de infiltración del agua de gravitación, expresada en cm por segundo. Coeficiente k.

$$Q = K \frac{H + H'}{H} S$$

Ley de Darcy; funciona bien para poros saturados y mal para poros no saturados.

a) Resultados:

La permeabilidad depende en primer lugar de la estructura y luego de la granulometría, las cuales condicionan la porosidad no capilar. El coeficiente k de los limos es superior al de las arenas en el caso de poros no saturados.

b) Consecuencias que afectan a la infiltración de lluvias:

La infiltración de las lluvias depende de la permeabilidad. El perfil hídrico después de una precipitación permite definir un frente de humectación, el cual, es más profundo en un suelo con textura gruesa.

2. Movimientos ascendentes del agua capilar en periodos secos

En periodos cálidos y secos el contenido de agua del suelo desciende por debajo de la capacidad de campo aunque el suelo conserva siempre una pequeña cantidad de agua, llamada "agua higroscópica".

Debido a que la desecación del suelo es más rápida en superficie que en profundidad, el pF aumenta en superficie, mientras que en profundidad es más bajo, tendiendo a establecerse una corriente de agua capilar, provocando un movimiento ascendente del agua.

a) Medio drenado.

El ascenso capilar es muy lento y no compensa la desecación sino que únicamente la ralentiza.

b) Presencia de una capa de agua libre.

El fenómeno del ascenso capilar es más importante y eficaz que en el caso de un suelo drenado; se trata de agua capilar "sostenida (y no "retenida").

La eficacia de este ascenso depende de dos factores:

- La altura de ascenso por encima de la capa de agua libre.
- El caudal, es decir, la velocidad de sustitución del agua absorbida por las raíces.

Estos dos factores dependen de la granulometría.

Conclusión: balances del agua, régimen hídrico

Los balances climáticos tienen una duración limitada y permiten expresar las relaciones que existen entre la humedad atmosférica y la del suelo.

$$P = ETP + D + \ddot{A}r$$

- Periodo húmedo; $\ddot{A}r = 0$, el drenaje climático = $P - ETP$.
- Periodo seco; P es inferior a ETP , no existe ningún drenaje climático.

Las variaciones del contenido en agua del suelo, a lo largo del año están estrechamente ligadas a los factores climáticos, e indican el régimen hídrico del suelo, el cual es un elemento fundamental del edafoclima.

La incidencia del régimen hídrico sobre la vida de las plantas y la edafogénesis es considerable y por lo que respecta a la edafogénesis, el drenaje climático es el factor básico que rige los procesos de eluviación e iluviación.

Edafogénesis y clasificación de los suelos

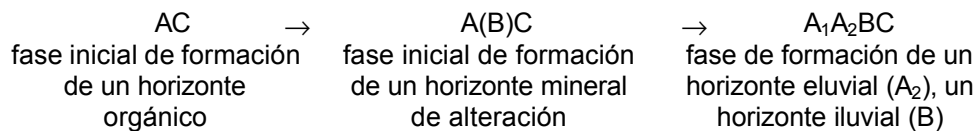
Evolución de los suelos: factores y procesos

Definiciones: ciclo de evolución

Un material aflorante tiende a desarrollar un perfil edáfico siguiendo las etapas de colonización por parte de la vegetación sobre dicho material, estando caracterizadas estas etapas de colonización vegetal, por ser diferentes ecosistemas. La evolución de estos ecosistemas tiende al ecosistema de equilibrio o situación de *climax*. A este modelo evolutivo se le conoce por evolución *progresiva*.

El conjunto de fases de evolución de los suelos constituye un *ciclo de evolución*

Evolución progresiva:



Por contrapartida, cuando un suelo en estado de climax sufre erosión, se dice que presenta una evolución *regresiva*, que en caso de ser consecuencia de influencia antrópica se conoce por *degradación*. Esta erosión es siempre una perturbación del ecosistema por destrucción de la vegetación.

La evolución regresiva puede ser **total** cuando el suelo se reduce a su roca madre (dando *litosol* en roca dura o *regosol* en roca blanda) o **parcial** (impidiendo la formación de los horizontes (B) de alteración y apareciendo sólo los humíferos (A₀ ó A₁), dando un *ránker de erosión* en roca ácida o una *rendsina inicial* sobre roca calcárea).

El factor tiempo: ciclos cortos y ciclos largos

Generalmente se habla de *ciclo corto* cuando la duración temporal de desarrollo edafogénico es del orden de 1.000 años y de *ciclo largo* cuando es del orden de 100.000 años. No obstante hay que tener en cuenta las zonas climáticas.

En clima templado o frío

Ciclo corto: caracterizado por alteración bioquímica con predominio de procesos de transformación de arcillas a 2/1 y minerales primarios incompletamente alterados.

Ciclo largo: homogeneización de perfiles poligénicos.

En clima cálido (subtropical, tropical, ecuatorial)

Ciclo corto: Predomina la *bisialitización* (transformación geoquímica) y neoformación de arcillas con la formación de suelos pardos eutróficos tropicales.

Ciclo largo: es el más característico de este clima, siendo la alteración geoquímica la predominante, con neoformación de arcillas y cristalización de óxidos de hierro y aluminio, dando

lugar a suelos *ferralíticos* (los más evolucionados) y suelos *ferruginosos* o *ferralsíticos*, menos evolucionados.

Métodos de medida de la edad de los suelos

Es necesario utilizar varios métodos aproximados para poder afinar la medida de la edad de los suelos:

- Observación de un proceso después de la colonización de un material nuevo.
- Comparación de suelos formados sobre materiales comparables pero de edades diferentes
- Integración en el tiempo de un proceso de velocidad conocida.
- Combinación de la palinología y de la datación de los horizontes orgánicos con la ayuda de C^{14} .

Factores ecológicos y edafogénesis

Existen dos factores fundamentales que controlan la edafogénesis global (ambos basados en el elemento clave: el *ecosistema*)

- Factores bioclimáticos generales: el *bioma* (formación vegetal climática), permite establecer zonas de vegetación y suelos a pequeña escala.
- Factores estacionales: condicionados por el relieve y el drenaje local, donde encontramos asociaciones especializadas de organismos vegetales. Permite definir zonas de suelos a gran escala.

Factores bioclimáticos generales: clima y vegetación climática

La convergencia de la humificación sobre materiales diferentes es la causa de la convergencia de la edafogénesis que afecta a la parte superior del perfil, mientras que los horizontes inferiores reflejan más las propiedades del material de origen. Así, los suelos con un mismo tipo de humus son *análogos* (antes denominados *suelos zonales*)

Se habla por contrapartida, de *divergencia de la edafogénesis* al observarse dentro de una misma zona, diferencias en el *paisaje edáfico*, que pueden responder a *umbrales ecológicos* (variaciones locales de distribución de agua, vegetación, etc) o a la *acción humana*.

Zonas y secuencias climáticas

Observando el mapa general de distribución de suelos, se puede establecer rápidamente una correlación de las zonas edáficas con la latitud, salvando casos donde existen importantes barreras geográficas.

Secuencias de clima húmedo con fuerte variación de temperatura: suelos podsólicos, suelos empardecidos, suelos ferruginosos subtropicales y tropicales y suelos ferralíticos.

Secuencias condicionadas por las variaciones de drenaje climático:

- $ETP \ll P$ = bosque resinoso o mixto (clima boreal)
- $ETP = P$ = bosque de frondosas (xerófilo) y estepa densa

- $ETP > P$ = bajo el bosque: *efecto hojarasca* (descomposición lenta y lavado de arcillas), en la estepa *efecto rizosfera* (maduración y humificación profundas con formación de horizonte cálcico).

Pisos de vegetación en altitud

En las montañas húmedas se puede establecer una correlación entre el *escalonamiento* de los suelos en altitud y la *zonación* de los suelos en latitud, aunque en ocasiones el relieve dificulta e incluso oblitera la posibilidad de realizar esta observación.

Factores estacionales

Comprenden el material de origen, la topografía y la economía del agua.

Material de origen

En clima templado, el proceso característico es el *empardecimiento* acompañado de *mull mesotrófico*, con la condición de haber abundante arcilla y hierro libre activo. Este proceso puede ser *modificado* (por influencia de la composición del material) o *sustituido por un proceso diferente* (sobrepasando ciertos umbrales ecológicos: *divergencia de la edafogénesis*).

Topografía, cadenas de suelos

Los suelos varían de forma continua a lo largo de la pendiente mientras que se mantienen idénticos "a lo largo de las curvas de nivel". Estas sucesiones regulares de los suelos, constituyen las *cadenas de suelos* o *toposecuencias* (*topolitosecuencias* si se complican con variaciones en los afloramientos geológicos a lo largo de la pendiente).

Los procesos que tienen lugar a lo largo de una ladera son (en orden de intensidad decreciente):

- Erosión global: rejuvenecimiento de los perfiles.
- Arrastre mecánico de partículas finas: erosión selectiva o empobrecimiento (lavado oblicuo de arcillas).
- Arrastre lateral de compuestos solubles (rebaja el pH).
- Modificación local del Eh (óxidoreducción).

Economía del agua

Es la resultante de la interacción entre las propiedades del material y la topografía, ocasionando según el flujo de agua superficial y subterráneo, modificaciones en el Eh, lavado de material o formación de suelos hidromorfos.

Factor humano

El ser humano produce degradación del suelo de dos formas:

1. Acción directa y brusca: la deforestación mas la unión de otros condicionantes como las lluvias torrenciales y la pendiente produce una erosión rápida de los suelos.

En las zonas con poca pendiente los horizontes húmicos forestales cambian a horizontes Ap. El cultivo prolongado en afloramientos arenosos provoca una fuerte impregnación de MO lo que ennegrece el perfil (Post podsoles).

Los complejos absorbentes de los suelos ácidos al resaturarse por aportes de abonos los suelos pasan a ser suelos pardos ácidos resaturados.

2. Acción indirecta: la tala abusivas, el pastoreo en el bosque y la retirada de la hojarasca provoca la formación de calveros lo que produce la rotura de el ciclo biogeoquímico, el suelo se acidifica y se apelmaza (descenso de la actividad biológica) y se instala una flora diferente que poco apoco sustituye al bosque.

Consecuencia de estas acciones la humificación provoca una edafogénesis diferente dando un **bosque climax**.

Conclusión: Diversificación de los suelos dentro de una zona

Esta diversificación esta provocada por factores “estacionales” o “antrópicos” que borra la acción de los factores bioclimaticos.

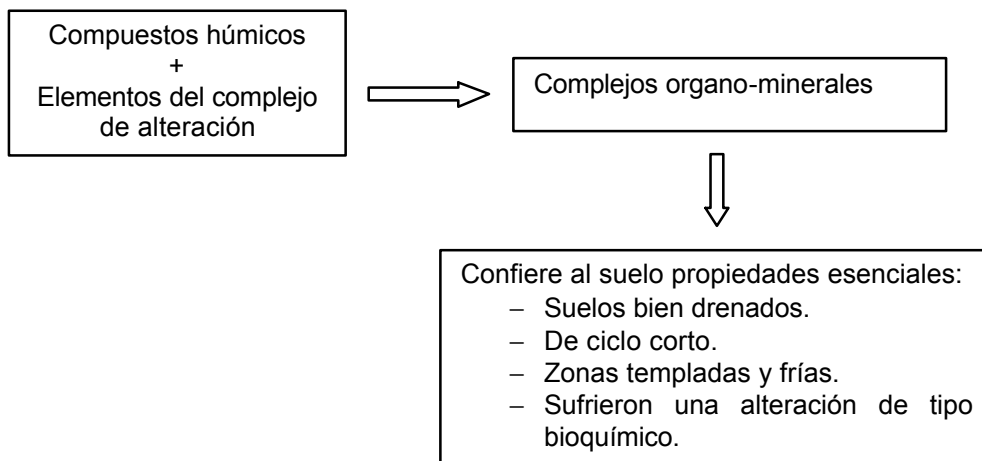
Procesos fundamentales de edafogenesis

El medio y el factor tiempo es el **origen de los procesos edafogénéticos**.

Medios → Procesos → Caracteres

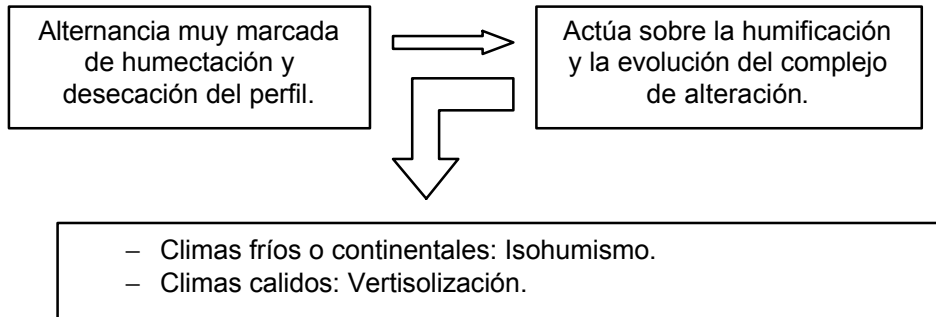
Existen 4 grupos de procesos:

1. Procesos ligados a la humificación.
 - a) Carbonatación.
 - b) Empardecimiento.
 - c) Lavado.
 - d) Podsolización.
 - e) Procesos físico-químicos próximos a la podsolidación.



2. Procesos condicionados por fuertes contrastes estacionales.

- a) Isohumismo.
- b) Vertisolización.



3. Procesos con alteración geoquímica baja pero prolongada (se produce la hidrólisis total). En este proceso no interviene la MO:

- a) Fersialitización.
- b) Ferruginización.
- c) Ferralitización.

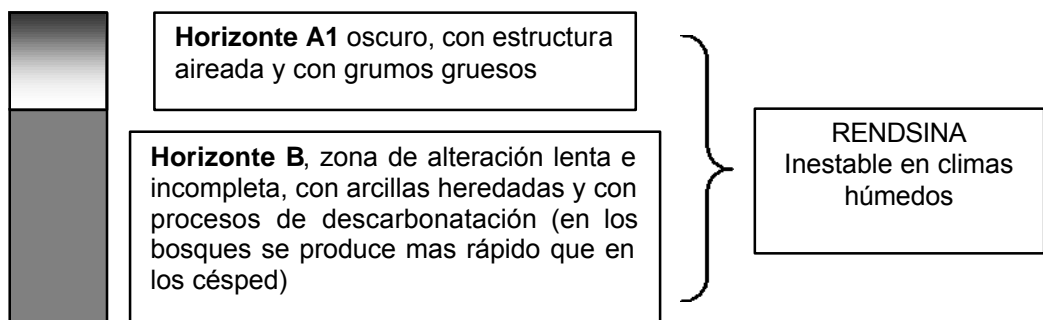
4. Procesos ligados a las condiciones físico-químicas de la estación:

- a) Hidromorfía.
- b) Salinización (sodización).
 - Procesos de oxido-reducción (inducido por las capas de agua reductora).
 - Presencia de iones Na^+ en forma salina o de cambio.

Procesos ligados a la humificación

- a) Carbonatación.

Está condicionado por la presencia de MgCO_3 en el perfil, se produce el bloqueo de la humificación causado por la insolubilidad de los precursores solubles. Con estas condiciones se forman:



b) Empardecimiento:

Esta provocado por un proceso climático, suele darse en zonas de clima templado con bosques de frondosas y en cualquier tipo de material no calizo o descarbonatado y que este bien drenado. Este material tiene que liberar arcillas y óxidos de Fe libres en cantidades suficientes.

En materiales con carbonatos (margas) se tiene que cumplir:

- Descarbonatación del perfil, eliminación progresiva de todo el CaCO_3 .
- Disminución del stock de materia orgánica.
- El humus solamente se localice en los horizontes superficiales (pH = 5 ó 6).

El horizonte B pardo esta coloreado por los óxidos de Fe ligados a las arcillas.

La alteración la cual es una acidolisis moderada es importante en superficie y sobre rocas eruptivas formando arcillas las cuales proceden de la transformación de micas por vermiculización. Esta alteración compensa los fenómenos de arrastre de las arcillas y del Fe.

c) Lavado:

Arrastre mecánico de las partículas finas dispersas por las aguas de gravitación desde los horizontes eluviales hacia los horizontes iluviales que están más coloreados, son horizontes Bt (argílico).

El lavado se superpone al proceso de empardecimiento en algunos materiales sedimentarios y no consolidados que tienen una cantidad de arcilla que se une con los que se produce en la alteración.

Las condiciones óptimas de este proceso son:

- Clima templado húmedo.
- Limos bien estructurados.
- Humus tipo Mull.
- Horizonte B mas apelmazado lo que provoca la ralentiza la circulación de agua.

El lavado es posible si la concentración de iones floclante Ca^{2+} y Al^{3+} es pequeña ya que estos iones impide la dispersión de las arcillas y las condiciones de acidez son moderadas. La presencia de un poco de materia orgánica no favorece la acción floclante de los cationes (solo activa al comienzo del proceso). La materia orgánica actúa de dos formas: en una compleja los iones floclantes y en la otra forma películas hidrófilas protectoras en la superficie de las arcillas.

Casos:

Lavado en medios ácido y temporalmente mal aireados (clima templado).

- Limos ácidos.
- Estructura inestable.
- Se saturan de agua en algunos periodos lo que produce la degradación de la estructura.
- Los agregados pueden romperse y liberar las arcillas.

- La materia orgánica dispersa la arcilla y anula la acción floculante de los iones Al^{3+} formándose argilanes descolorados.

Formas de lavado que se producen en otras zonas climáticas.

1. Lavado en medios ricos en calcio y con climas contrastados.

Suelen darse en suelos grises forestales, cuando llegan las lluvias, los iones Ca^{2+} se diluyen y las arcillas se dispersan a través de grietas de retracción del horizonte Bt.

2. Lavado de suelos ferralíticos con caolinita.

La caolinita es una arcilla poco dispersable ya que esta formando agregados muy estables si además le sumamos un cemento ferruginoso se hacen inmóviles mientras el medio sea aireado.

Cuando hay inestabilidad se produce un cambio de estado de los óxidos de Fe, lo que produce la destrucción parcial de las sustancias cementadas desestabilizando así a la caolinita que es arrastrada profundamente en el perfil (acumulación en forma difusa).

- d) Empobrecimiento.

Arrastre lateral de elementos finos (arcillas) provocado por una erosión selectiva y superficial por las lluvias torrenciales sobre materiales arcillosos poco permeables.

Los óxidos de Fe y Al libre que existe en el horizonte B, inmoviliza los complejos móviles por adsorción. Estos evolucionan por polimerización y separación de los constituyentes, por un lado el anión orgánico complejante forma el horizonte Bh y el metal complejado al horizonte Bs.

En los medios drenados, el Al más móvil que el Fe es arrastrado a un nivel más inferior.

Los medios mal drenados con capas de agua móviles sucede lo contrario.

- e) Procesos físico-químicos próximos a la Podsolización.

- Criptopodsolización.
- Andosolización.
- Pseudopodsolización.

Procesos condicionados por fuertes contrastes estacionales

En un perfil sometido a una alternancia de humectación - desecación acusada influye sobre la evolución de la materia orgánica y de la materia mineral.

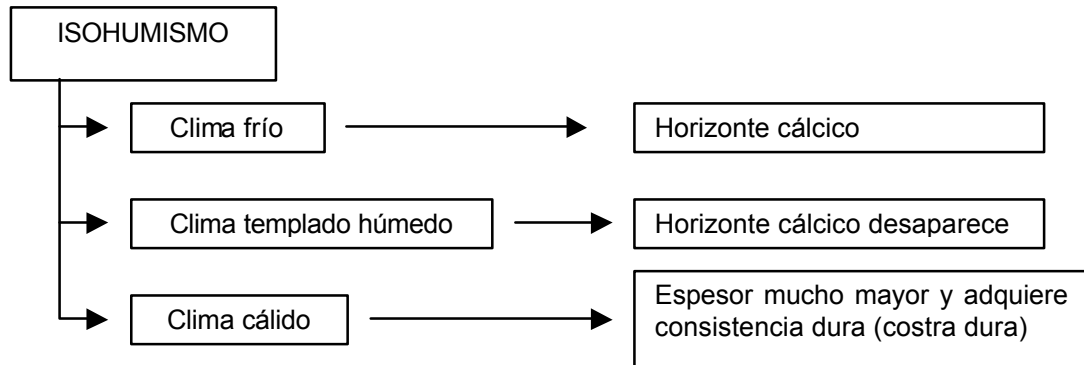
La materia orgánica adquiere color oscuro por maduración y estabilización climática.

Las arcillas 2:1 expansibles son de neoformación.

El ciclo del calcio

Partiendo de un complejo absorbente saturado el calcio es lixiviado, parte de el precipita en la base del perfil lo que permite la formación de un horizonte cálcico.

Este proceso esta condicionado según el clima al que esta sometido, en climas fríos se da el Isohumismo mientras en climas calidos se produce la vertisolización.



Vertisolización

Se da en climas tropicales-subtropicales. El Ca esta ligado a la alternancia de humectación-deseccación que explica la neoformación de arcillas expansibles (Montmorionita). Hay presencia de compuestos húmicos negros muy policondensados. Se producen movimientos vérticos sobre rocas básicas (basaltos) que producen la homogenización del perfil, se forman grietas de retracción y superficies oblicuas de fricción y el Fe liberado por alteración se incorpora a las arcillas de neoformación.

Procesos a base de alteración geoquímica prolongada

Este tipo de alteración ataca a los minerales primarios mas resistentes en medios drenados, se evacua completamente de la sílice y de las bases liberadas, las arcillas de neoformación predomina sobre las arcillas heredadas o transformadas, los óxidos de Fe son abundantes y bien cristalizados dando unos colores ocres.

Procesos fundamentales

- 1) Grado de alteración creciente de los minerales primarios.
- 2) Perdida creciente de sílice y de bases.
- 3) Predominio de las neoformaciones.

a) Fersialitización

- Se da en climas subtropicales y tropicales con periodos secos acusados.
- Hay predominio de las arcillas 2:1, parte es heredada y otra parte es de neoformación.
- Fuerte individualización de los óxidos de Fe.
- Aparece el complejo absorbente saturado.
- Presencia de un horizonte argílico Bt.

Suelos ferralíticos



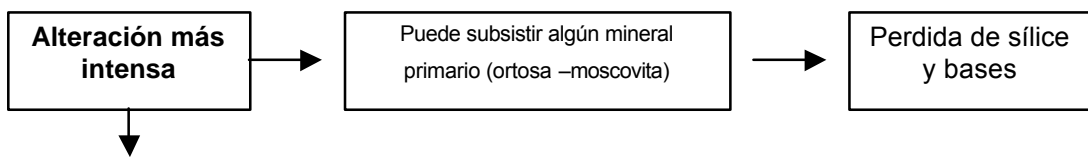
Caracterizados:

- pH = 7
- Humificación intensa.
- El horizonte B de color pardo-rojizo →
- **Índice de alteración** > 50 %
(Fe libre / Fe total)

Rubificación (formación de hematites)

- Cristalización rápida de los óxidos de Fe liberados por la alteración.
- Ausencia de MO.
- En un medio saturado no calizo.
- Fuertes contrastes de humificación-deseccación.

b) Ferruginización



- Predominio de arcillas 1/1 neoformadas (caolinita)
 - Los óxidos de Fe pueden ser rubificados.
 - Grado más bajo que ferralitización
 - Da argilones típicos de lavado.
- Función de la humedad del clima
→ Importante en el periodo seco

c) Ferrilitización

- Alteración total de los minerales primarios excepto el cuarzo.
- El perfil alcanza varios metros.
- Arcillas predominante la caolinita.
- Formación de agregados caolinita - hematina estable que impide el lavado.
- No formación de argilones.

Procesos ligados a las condiciones físico - químicas de la estación

Factores estacionales:

- Descenso del Eh en un medio saturado de agua reductora.
- Presencia del ion Na⁺ en cantidades anormales.

Evolución del suelo:

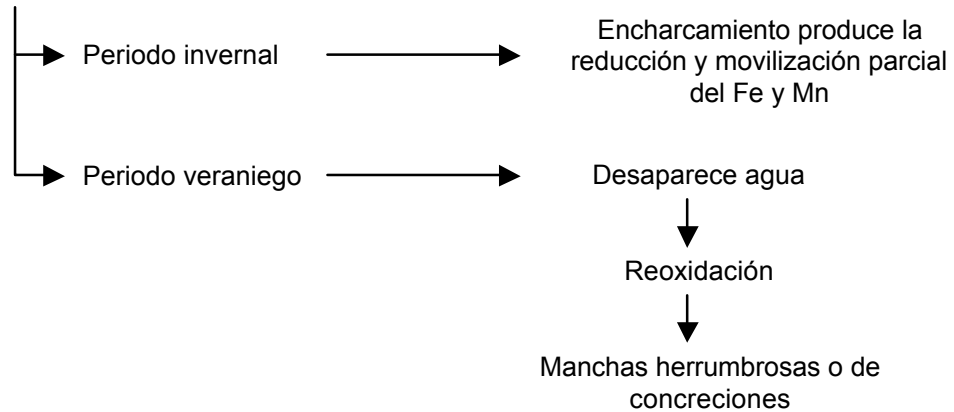
a) Hidromorfía.

Proceso de reducción del Fe libre debido a la saturación de los poros con agua reductora.

Existen dos tipos:

- Hidromorfía temporal de superficie (Pseudogley).

Horizontes
superficiales



- Hidromorfía profunda permanente (Gley).

Influencia de las capas freáticas profundas muy reductoras ($Eh = 0$).

El Fe se reduce (todo) incluso en medio neutro y se acumula en la base del perfil formando carbonatos ferrosos o sales complejas de color verde Gt.

En condiciones ácidas existe la movilización por circulación lateral de las capas de agua (Gley blanco).

En el verano, la capa de agua desciende y se produce el ascenso capilar del hierro ferroso $Fe(CO_3H)_2$ el cual precipita en forma de manchas herrumbrosas en el horizonte intermedio.

b) Salinización:

