

Procesos específicos de formación de suelos (2)



Prof. Dr. Deyanira Lobo Luján

lobo.deyanira@gmail.com

Procesos de Translocación - Transporte

Eluviación: Salida de material en **suspensión** de una sección del perfil suelo (minerales de arcilla o compuestos orgánicos insolubles)

Iluviación: Entrada de material en **suspensión** de una sección del perfil suelo (minerales de arcilla o compuestos orgánicos insolubles)

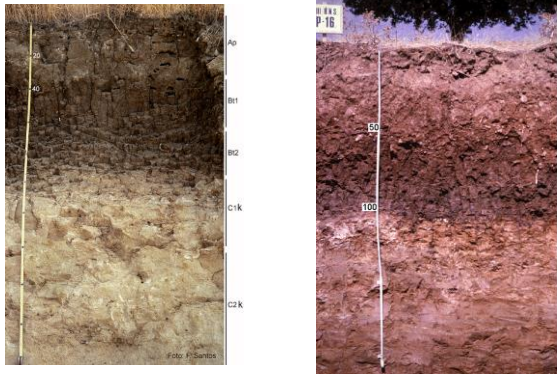
Lixiviación: Salida de material en **disolución** en una sección del perfil suelo (iones o compuestos inorgánicos u orgánicos solubles)

Acumulación: Entrada de material en **disolución** en una sección del perfil suelo (iones o compuestos inorgánicos u orgánicos solubles)

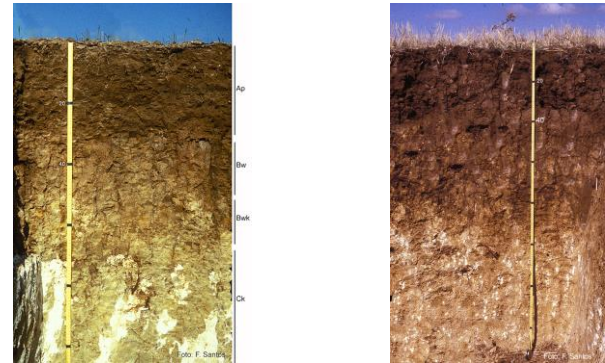
Ejemplos de sustancias del suelo que sufren translocación

- Humus, arcillas y sesquióxidos (suspensión)
- Sales solubles (en solución) por drenaje
- Sales solubles (en solución) por ascenso capilar
- Suelos mezclados por fauna (crotovinas)
- Suelos mezclados por movimientos físicos del material: acción del hielo o del agua

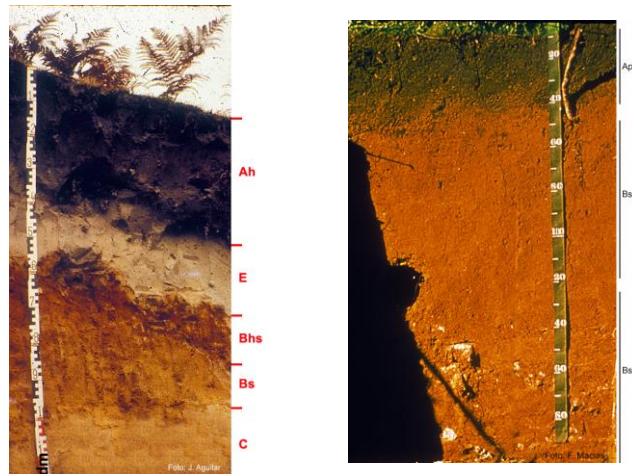
t acumulación de arcilla iluvial, (de textura, o sea granulometría). **Bt**.



k acumulación de carbonatos secundarios (k de calcium). Llamado "ca" en otras terminologías). En B (frecuente), en C (muy frecuentemente) y a veces en A (**Ak Bk Ck**).



S acumulación de sesquióxidos, típico de los podzoles. **Bs**, también en los ferralsoles



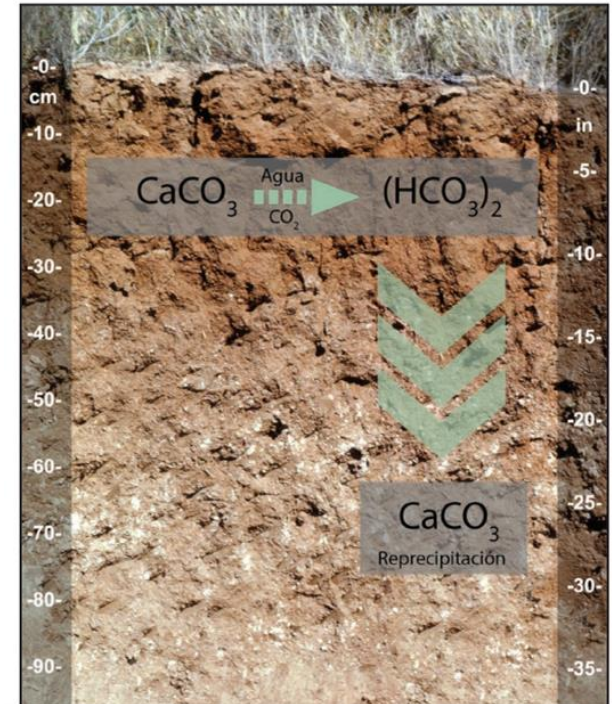
y acumulación de yeso. **Ay By Cy**



Carbonatación y descarbonatación

Proceso de transformación del carbonato en bicarbonato por la acción del CO_2 y de los ácidos orgánicos en carbonatos y viceversa.

El bicarbonato es soluble y se desplaza a horizontes más profundos, por lo que los horizontes superficiales se empobrecen en este elemento: descarbonatación. En los horizontes profundos, con menos actividad biológica y pérdida de agua, la reacción se desplaza en sentido contrario, por lo que se deposita el carbonato (carbonatación) en forma de nódulos o capas duras cementadas (horizontes petrocálcicos). El carbonato puede provenir del material original o haberse formado en el suelo.



Horizonte Cálcico

Ocurre principalmente en climas subhúmedos, semiáridos y áridos, con una fuerte ETo, pero en los cuales existe una cantidad suficiente de agua para disolver y transportar el CaCO_3 dentro del perfil. Puede manifestarse de varias maneras en el perfil: en la masa del suelo (detectable por desprendimiento de burbujas de CO_2 por reacción al HCl); en forma de pseudomicelios, nódulos o concreciones o fuertemente cementado. La acumulación de CaCO_3 puede aparecer desde la base del horizonte A hasta el horizonte C y se simboliza con el **sufijo k**

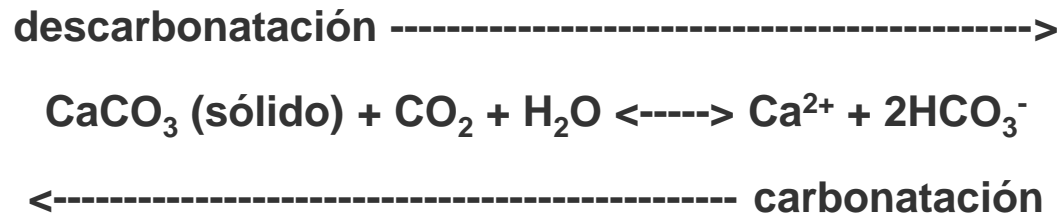
Descarbonatación/Carbonatación

Proceso que comporta la solubilización, de los carbonatos en las estaciones húmedas, para lo que se requiere su transformación en bicarbonatos (descarbonatación).

Ello se produce gracias al CO_2 y los ácidos orgánicos producidos por la actividad biológica por lo que su intensidad es máxima en los horizontes superficiales.

Los bicarbonatos migran dentro del perfil hasta cierta profundidad donde precipitan en forma de carbonatos (carbonatación).

Esta precipitación es debida a la desecación del suelo, la disminución de la concentración de CO_2 con la profundidad y la reserva cálcica de los suelos:



Los carbonatos que se forman en el suelo se llaman secundarios o edáficos mientras que los que proceden de la herencia directa del material original se llaman primarios.

Parámetros que influyen

Agua y CO₂

incorporación de agua y/o aumento del CO₂ disuelto ==> disolución de los carbonatos

disminución de agua y/o del CO₂ disuelto ==> precipitación de los carbonatos

La acción del CO₂ en la disolución de los carbonatos es de gran importancia ya que la presión parcial de CO₂ en el aire del suelo es del orden de diez veces mayor que la de la atmósfera o incluso mayor.

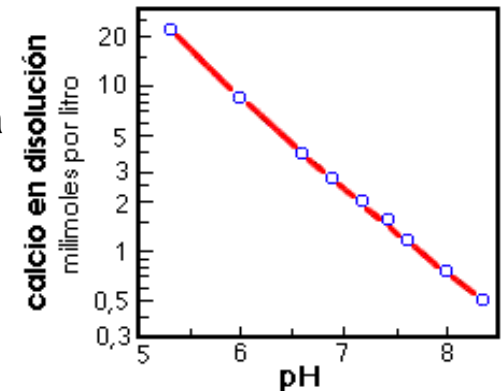
Esta acumulación de CO₂ es debida a la actividad biológica (acción de las raíces y respiración de los microorganismos) y a la descomposición de la materia orgánica.

pH

Los cambios en el pH afectarán al sistema ya que al aumentar el contenido de CO₂ en agua también aumentará proporcionalmente la acidez y la disolución de los carbonatos tendrá lugar. Lo contrario ocurrirá si aumenta la alcalinidad.

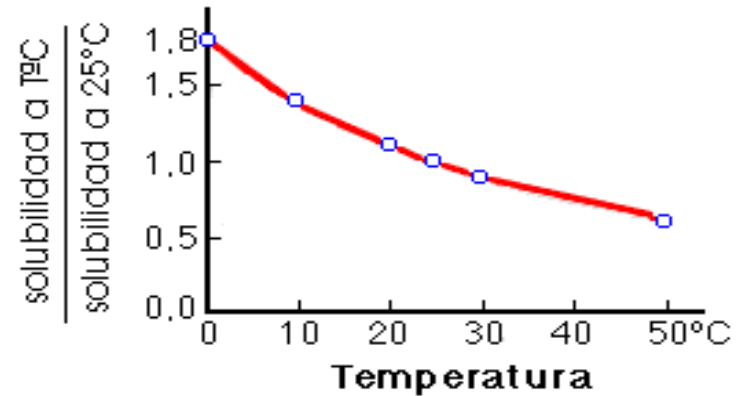
aumento del pH --> precipitación de los carbonatos

disminución del pH --> disolución de los carbonatos



Temperatura

La temperatura afecta al equilibrio, ya que el CaCO_3 es menos soluble en agua caliente que en agua fría. La solubilidad de los carbonatos decrece cuando aumenta la temperatura y por eso la movilidad de los carbonatos será mayor en climas fríos que en climas cálidos.



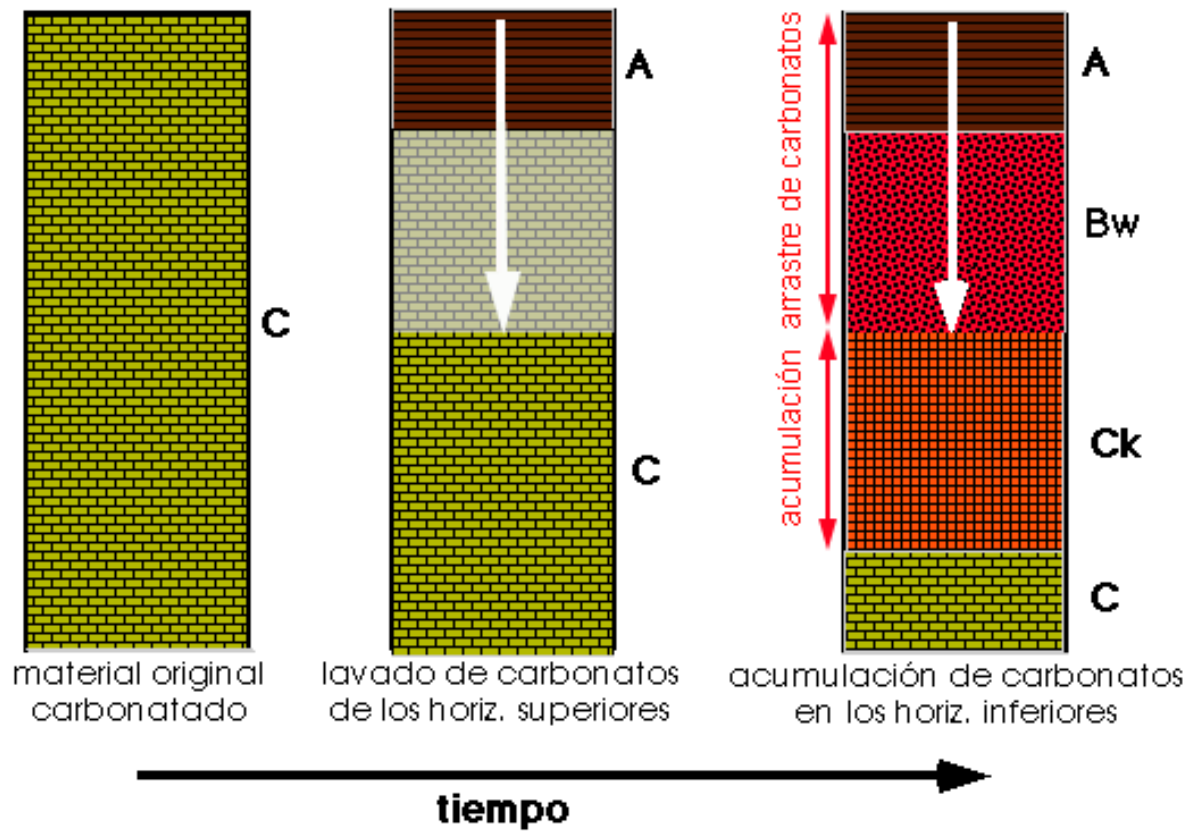
- disminución de la temperatura --> disolución de los carbonatos
- aumento de la temperatura --> precipitación de los carbonatos

Sales

Otro parámetro que influencia la solubilidad de los carbonatos es la concentración de la solución del suelo.

Así la presencia de un **ión común** reduce la solubilidad, mientras que la presencia de otras sales que no tienen ningún ión común con los carbonatos aumenta la solubilidad de la sal particular.

El proceso de carbonatación es típico de las regiones áridas, semiáridas y subhúmedas, con una suficiente escasez de agua como para que los carbonatos puedan acumularse en el suelo. Como resultado de este proceso, se forman **horizontes cálcicos**.



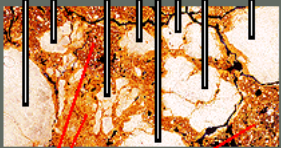
macro



nódulos de carbonatos endurecidos

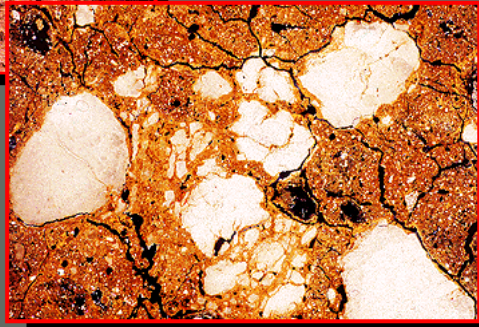


nódulos de carbonatos

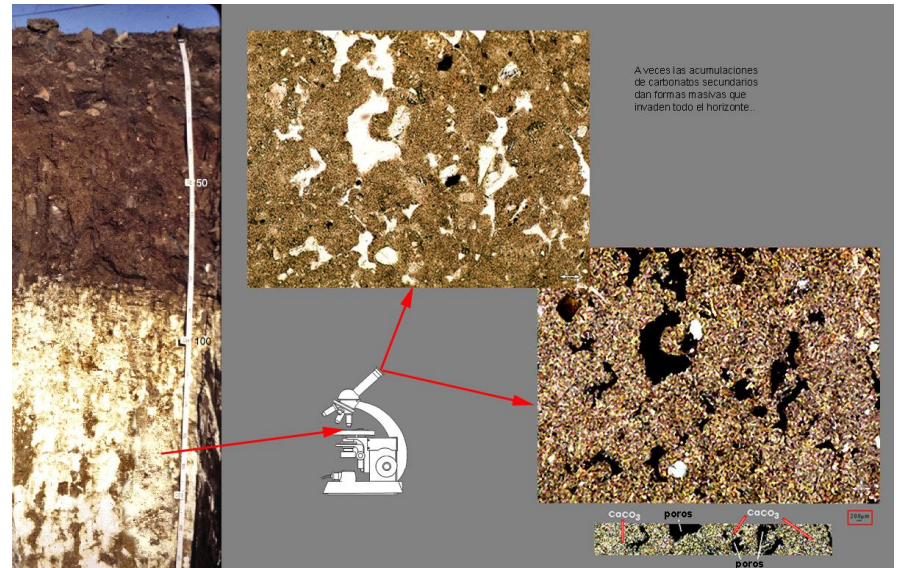


masa basal

1 mm



micro



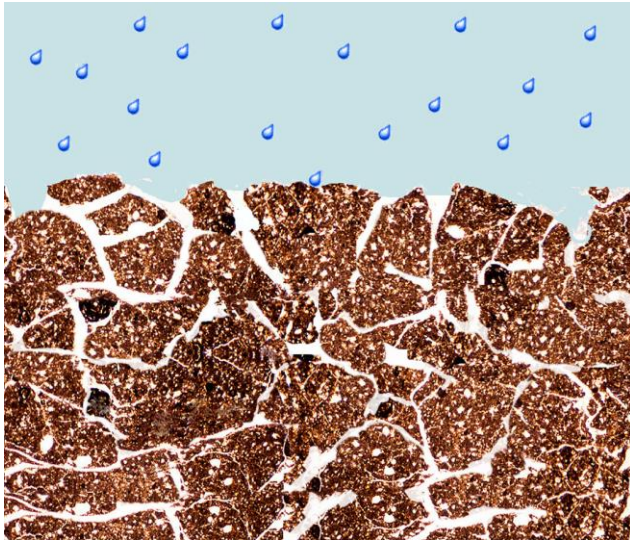
A veces las acumulaciones de carbonatos secundarios dan formas masivas que invaden todo el horizonte...

CaCO_3 poros CaCO_3 poros

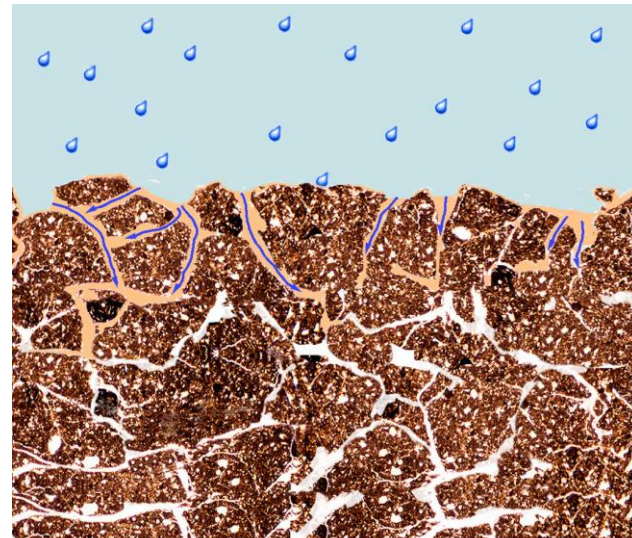
Iluviación de arcilla

Migración de la arcilla de los horizontes superficiales a los horizontes profundos del perfil.

El agua de las precipitaciones atmosféricas se infiltra en el suelo movilizándose a la arcilla de los horizontes superiores, la cual al dispersarse pasa a la solución del suelo en forma de suspensión. Por la acción de la gravedad, las suspensiones se infiltran por el suelo a través de los macroporos. Al alcanzar estas suspensiones horizontes profundos en los que el suelo se encuentra seco el agua de las suspensiones que migran por los macroporos es succionada por los microporos de las zonas circundantes



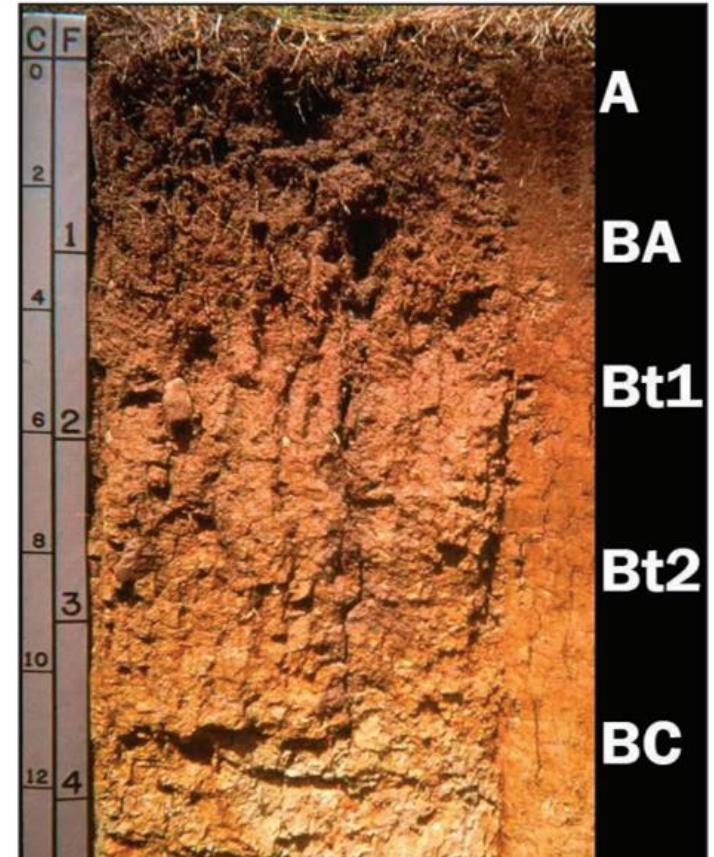
Simulación de un corte vertical de la superficie de un suelo en estado seco en el momento en que le llega las precipitaciones atmosféricas



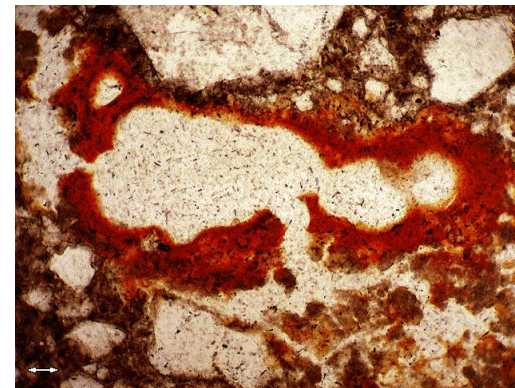
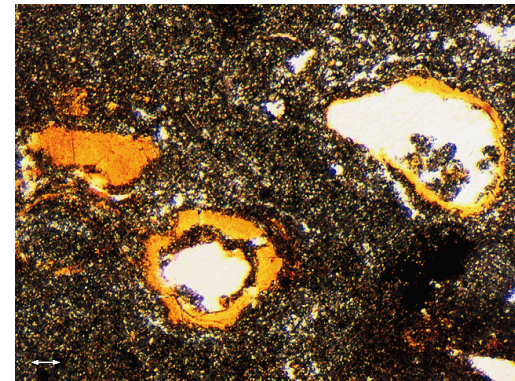
El agua de lluvia se infiltra en el suelo: circulando en una primera instancia por los grandes poros desplazándose a los horizontes profundos. De modo simultáneo va también desplazándose lentamente a través de los microporos

Lixiviación

- Es un proceso de arrastre mecánico vertical de las partículas coloidales dispersas, es decir arcillas e hidróxidos de Fe ligados a ellas. No hay alteración química de las mismas, sino sólo transporte a través del perfil del suelo desde los horizontes superficiales (eluviales: empobrecidos y parcialmente decolorados) hacia los horizontes profundos (iluviales: enriquecidos y coloreados).
- Se genera, en ciertas circunstancias, en la capa superior un horizonte E, a veces álbico y en las inferiores un **Bt** u **horizonte argílico**



- El proceso necesita una cantidad suficiente de agua para que los coloides se dispersen y transporten, pero también se requiere que haya alternancia de períodos húmedos y secos.
- La profundidad en la que se genera el horizonte Bt depende del frente de humectación de las lluvias efectivas, lo que define el límite del descenso de los coloides.
- El proceso está ligado a la humificación porque la migración hacia capas inferiores es en realidad de complejos órgano-minerales.
- Cuando disminuye el aporte de agua en el período seco, se detiene el descenso de los mismos y la materia orgánica es biodegradada.
- En esas condiciones, la arcilla y los óxidos de hierro se liberan y se depositan en las superficies de los agregados, formando revestimientos o barnices, denominados **cutanes**



Empardecimiento

- Este proceso ocurre en las zonas de clima templado húmedo (régimen percolativo: **údic y perúdic**) donde domina el bosque de latifoliadas. La condición es que los materiales sean bien drenados, no calizos (o previamente decarbonatados).
- El proceso debe su nombre a la coloración parda ocasionada por la presencia de suficiente cantidad de óxidos de Fe y enriquecimiento in situ de arcillas (no iluviales).
- La fase de empardecimiento puede seguir a la **descarbonatación** produciéndose después de la eliminación progresiva de todo el CaCO_3 , y también después del inicio de la **decalcificación**.
- Se forman hidróxidos férricos más o menos hidratados y parcialmente cristalinos. Estos geles se unen a las arcillas (directamente o a través del humus) formando unos compuestos (a veces complejos organominerales) de color pardo.
- Como resultado del este proceso se puede individualizar un **horizonte Bw** u horizonte cámbico de color pardo a pardo rojizo.





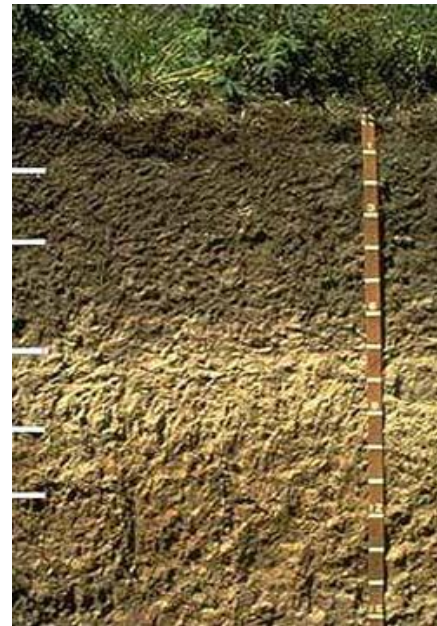
En este perfil se observa como la roca (granito) es de color gris y al meteorizarse dando origen al suelo se va empardeciendo progresivamente.

Melanización

Proceso de oscurecimiento de los horizontes superficiales del suelo por la evolución de restos orgánicos frescos hacia formas complejas (humus), con la participación de los microorganismos.

El oscurecimiento es más o menos intenso según domine la mineralización o la humificación.

Las labores favorecen la mineralización por lo que el oscurecimiento es menos intenso que en las áreas de vegetación natural, siempre que las condiciones de humedad sean semejantes.



Rubefacción

Es un proceso ampliamente representado en las regiones de climas cálidos y templados, con un período de larga e intensa sequía.

En estas condiciones los compuestos de hierro producidos como consecuencia de la alteración mineral, sufren una deshidratación total, cristalizando en forma de óxidos, tipo hematita.

La hematita presenta un color rojo vivo, que impregna el perfil, apareciendo la coloración típica de este proceso.

Es totalmente imprescindible para que se desarrolle este proceso, la existencia de una estación lo suficientemente seca como para producir la deshidratación de los compuestos de hierro.



Oxidación-reducción

Proceso químico reversible de transferencia en principio de toma y liberación de oxígeno, de donde le viene el nombre, si bien, de un modo más genérico, de electrones.

En la oxidación las especies químicas pierden electrones (luego se cargan positivamente) y en la reducción los ganan (aumenta la carga negativa). Ambas reacciones están asociadas.

La oxidación se produce en suelos bien aireados (el aire siempre contiene más oxígeno que el agua), con buen drenaje, los elementos químicos tienen su valencia más alta (ejemplo Fe^{3+} y Mn^{4+}) y se fijan en el suelo, dando manchas rojizas.

La reducción se produce en suelos con déficit de oxígeno, condiciones anóxicas, anaerobias y los elementos tienen sus valencias más bajas (Fe^{2+} y Mn^{2+}) y son solubles, pudiéndose desplazar por el perfil, dando tonalidades azules, verdes o grises. Este proceso se mide mediante el potencial de oxidación-reducción (Eh), utilizando un electrodo de referencia y su unidad es el voltio. El potencial redox está vinculado al contenido en oxígeno de un suelo y al pH

POTENCIAL DE ÓXIDO-REDUCCIÓN

Eh - 450-800 mV **AEROBIOSIS**

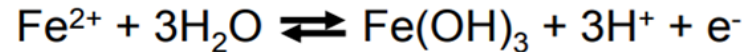
Eh - 450- 0 mV **ANAEROBIOSIS
FACULTATIVA**

Eh - 0 - (-300)mV **ANAEROBIOSIS**

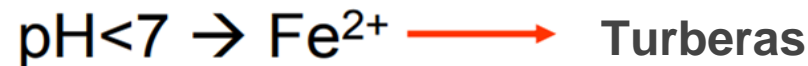
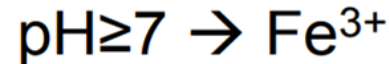


Efecto del pH

En ambiente anóxicos a $\text{pH} \geq 5$...



Voltímetro: 400 mV a $\text{pH}=5$



Condiciones de aireación

↑ resistencia a cambios en $E_h \rightarrow$ EQUILIBRIO REDOX

1) Presencia de O_2 :

↑ resistencia a cambios en E_h mantenida por O_2 (↑ E_h)

2) Ausencia de O_2 :

- ↓↓↓ E_h rápidamente → Reducción de constituyentes débilmente oxidantes (NO_3^- , Mn^{4+} , Fe^{3+} y SO_4^{2-})
- Si [Fe^{3+}] y [Mn^{4+}] ↑↑↑ → ↓↓↓ E_h lento

Secuencia termodinámica de reducción de sustancias inorgánicas (pH=7 y 25° C)

Reacción	E_h (mV)	ΔG (kcal mol ⁻¹ /e ⁻)*
Reducción (desaparición) de O ₂	812	-29.9
Reducción de NO ₃ ⁻	747	-28.4
Reducción de Mn ⁴⁺ a Mn ²⁺	526	-23.3
Reducción de Fe ³⁺ a Fe ²⁺	-47	-10.1
Reducción de SO ₄ ²⁻ a H ₂ S	-221	-5.9
Reducción de CO ₂ a CH ₄	-244	-5.6

POTENCIAL DE ÓXIDO-REDUCCIÓN

Eh - 450-800 mV **AEROBIOSIS**

Eh - 450- 0 mV **ANAEROBIOSIS
FACULTATIVA**

Eh - 0 - (-300)mV **ANAEROBIOSIS**

Desnitrificación

Proceso microbiano de reducción del NO_3^- que da como producto final N_2 gaseoso, a través de una serie de productos intermedios gaseosos (NO_x)
Es desasimiladora porque la reducción de NO_3^- ocurre con la degradación de la materia orgánica



ó como una reacción **redox**:



El NO_3^- es respirado por los microorganismos que lo reducen (receptor de electrones) en respuesta a la oxidación de la materia orgánica (dador de electrones).

¿Dónde hay desnitrificación?: donde la tasa de consumo de O_2 sea mayor a su suministro: suelos, aguas subterráneas, humedales, lagos, sedimentos marinos, etc.

Organismos que participan en la Desnitrificación

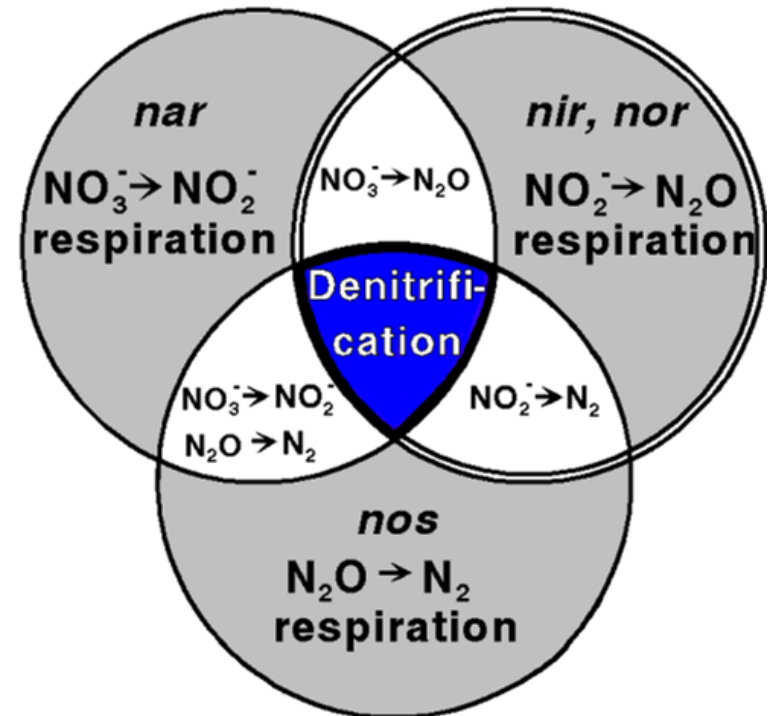
Bacterias heterotróficas:

Paracoccus denitrificans y varias pseudomonas

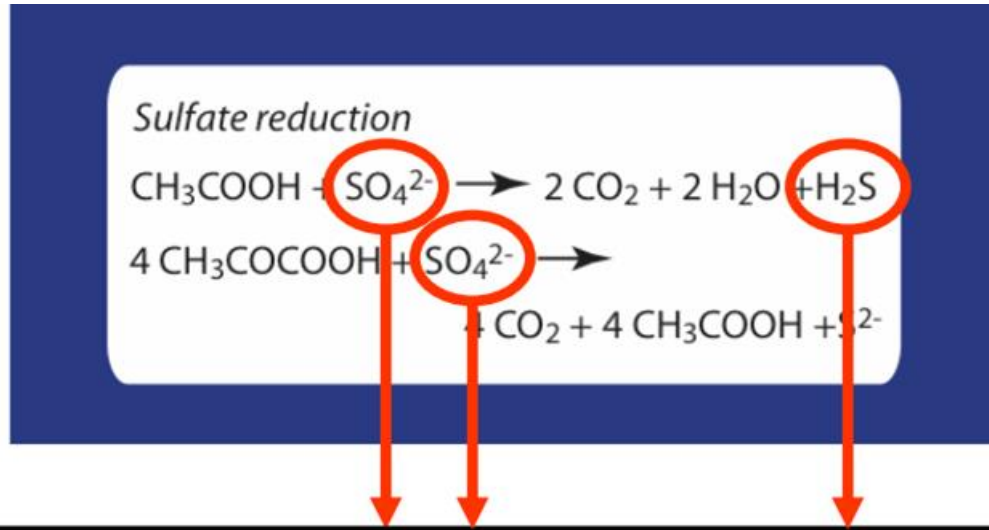
Bacterias autotróficas (en menor medida): *Thiobacillus denitrificans*

Genes (vías enzimáticas)

identificados: nar (nitrate reductasa), nir, nor (nitrite reductasa), nos (nitrous oxide reductasa) y nrf (nitrate to ammonium reductasa).

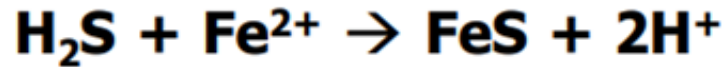


Reducción de Sulfatos



1. Es una reducción desasimiladora en sustratos anaeróbicos similar a la desnitrificación
2. SO_4^{2-} actúa como un receptor de e^- alternativo durante la oxidación de la materia orgánica
3. Bacterias reductoras de sulfato: *Desulfovibrio* y *Desulfotomaculum*
4. Principal fuente biogénica de H_2S a la atmósfera hasta industrialización

Reducción de Sulfatos

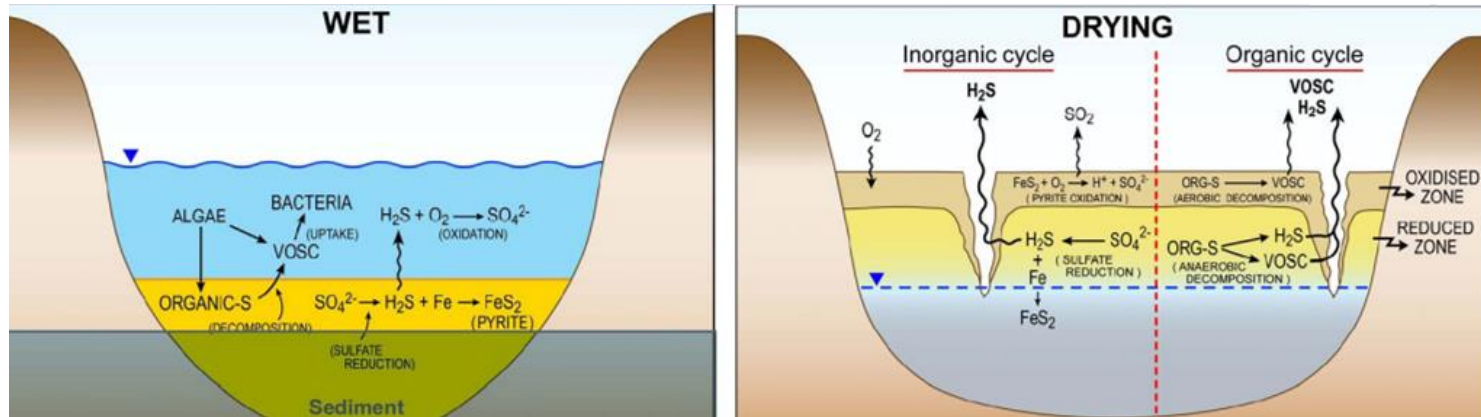


5. Liberación de H_2S a la atmósfera desde el suelo \lll tasa de reducción de sulfatos H_2S reacciona con otros constituyentes del suelo (e.g. Fe^{2+}):



6. Liberación de H_2S limitada por contenido Fe

7. Sulfuros de Fe => trampa efectiva para H_2S



8. Cuando baja el nivel de agua:

- Reoxidación de FeS y FeS₂ (bacterias especializadas)
- Liberación de SO₄²⁻ y difusión hacia zona de reducción de sulfatos
- Vuelta a empezar...

9. Otras formas de inmovilización del sulfhídrico:

- Reacción con Materia Orgánica → Asociación C-S
 - a) En restos de plantas
 - b) Asociaciones H₂S + Mat. Orgánica
 - c) Inmovilización microbiana de SO₄²⁻

Forma más común de acumulación en humedales

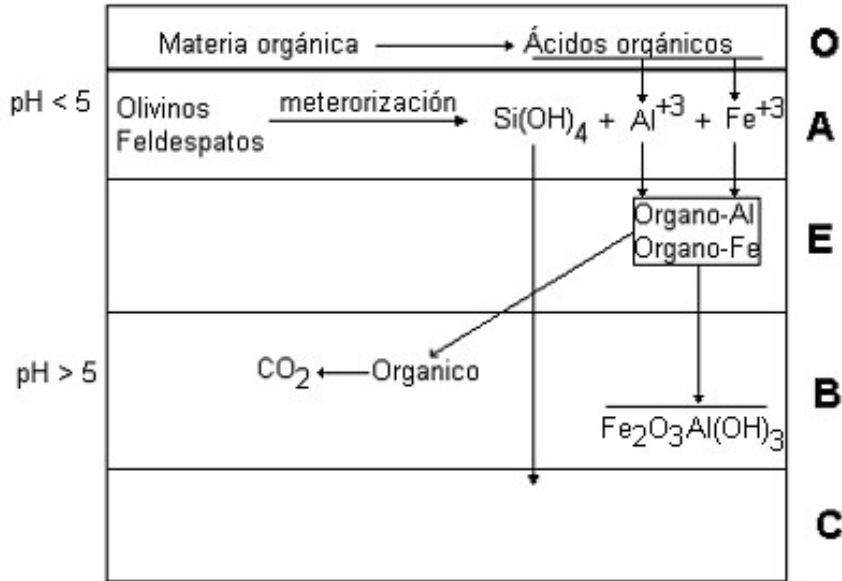
Metanogénesis

Methanogenesis



Reacción	E_h (V)	ΔG (kcal mol ⁻¹ /e ⁻)*
Reducción de SO_4^{2-} a H_2S	-0.221	-5.9
Reducción de CO_2 a CH_4	-0.244	-5.6

Podzolización



Epipedón: horizonte superficial

Endopedón: horizonte subsuperficial

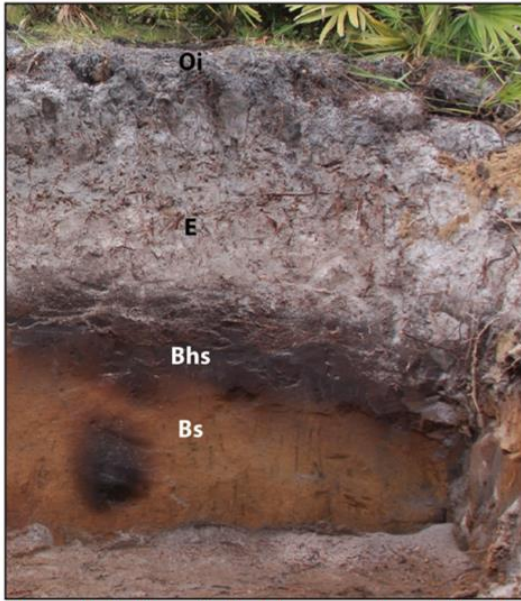
El proceso de podzolización en dos secuencias:

- movilización de Al, Fe y C orgánico desde el epipedón ácido

- transporte vertical y una subsecuente inmovilización en el endopedón menos ácido.

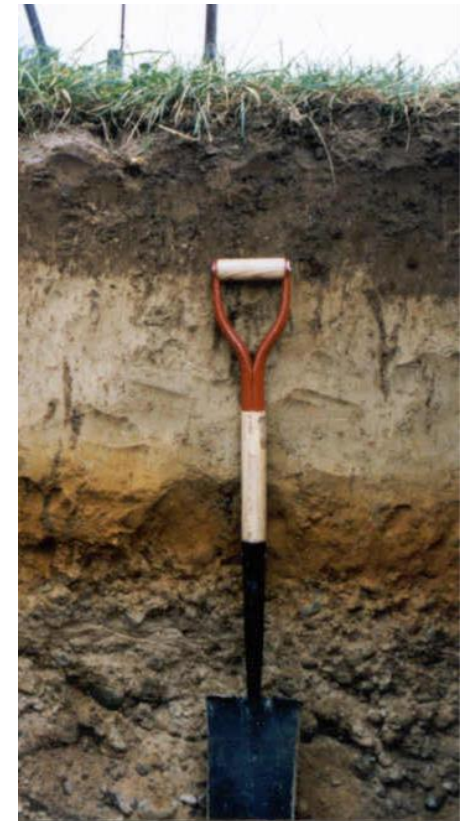
Esta secuencia conduce a la típica morfología en el pedón de un horizonte E desprovisto de Fe localizado arriba de un horizonte **Bhs**.

Las pruebas de que se ha desarrollado el proceso de podzolización en un suelo, se ven reflejadas en la morfología del perfil, aunque a veces los horizontes no son tan patentes y entonces se hace absolutamente necesario analizar la distribución de la materia orgánica, del Fe y del Al, en función de la profundidad y recurrir a la micromorfología, para buscar los recubrimientos, generalmente, microfragmentados, sobre los granos de arena del horizonte **Bh** o las diferentes manifestaciones de los óxi-hidróxidos de Fe, en los **Bs**.



Los complejos de humus con Fe y Al (quelatos) migran para formar en profundidad un **horizonte espódico**. El proceso de migración de quelatos se conoce como **queluviación**. El horizonte eluvial queda de color ceniciento (horizonte E o álbico) y es el que da el nombre al proceso, ya que podsol significa suelo ceniciento en ruso

Los quelatos formados entre el humus y los hidróxidos de Fe y Al son solubles y migran con el agua fácilmente debido a la permeabilidad del perfil. Estos complejos quelatados se inmovilizan en profundidad cuando cesa el aporte de agua desde superficie. Después ocurre la separación de los constituyentes, y se visualiza el anión orgánico complejante de color oscuro y el metal acomplejado de color herrumbre. Esto da origen a horizontes **Bh** de color negro, **Bs** de color herrumbroso o **Bhs** de color pardo herrumbroso



Edafoturbación

Proceso en el que los materiales del suelo sufren cambios posicionales y efectos de mezcla dentro del propio suelo.

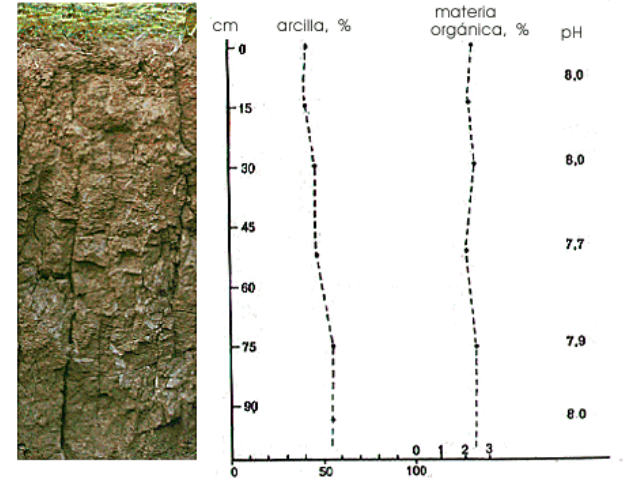
Su origen puede ser la acción del hielo-deshielo (**crioturbación**), el comportamiento de la meso y macrofauna (**bioturbación**), la expansión retracción de las arcillas (**argiloturbación**), y otros agentes mecánicos.



crioturbación



bioturbación



argiloturbación

Procesos condicionados por fuertes contrastes estacionales

Vertisolización

Este proceso se da como consecuencia de la granulometría y mineralogía heredada del material original.

Las alternancias de humectación y desecación del perfil explican la neoformación de arcillas 2:1 expandibles en cantidad considerable (montmorillonitas), que provocan movimientos de grandes masas de suelo. A medida que el subsuelo se hincha, los bloques de suelo se desprenden de la masa y se frotan entre sí, dando lugar en el subsuelo a superficies brillantes, inclinadas llamadas **slickensides** o superficies de espejo



Eventualmente, este movimiento de masas de suelo puede formar depresiones cóncavas con perfiles relativamente profundos rodeados por áreas ligeramente elevadas en las que se ha producido un pequeño desarrollo de suelo y en el cual el material original permanece cerca de la superficie. Este microrelieve recibe el nombre de **gilgai**. En las estaciones secas, las arcillas se contraen, haciendo que los suelos desarrollen anchas y profundas grietas.



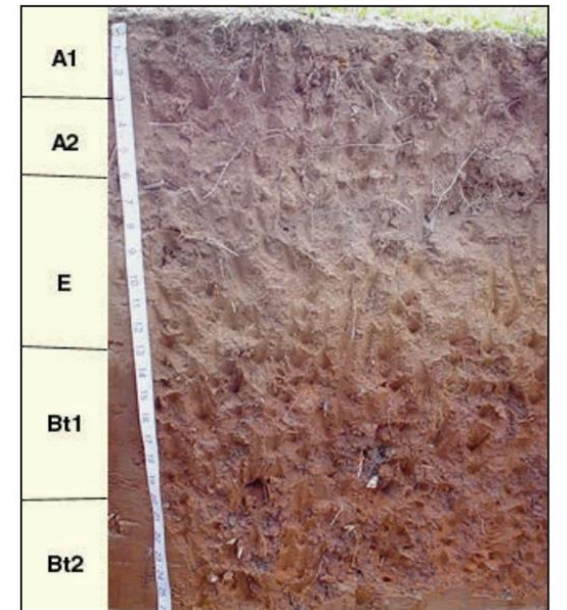
Procesos basados en la alteración geoquímica

- Se producen intensas alteraciones que atacan a los minerales primarios más resistentes.
- Ocurren en medios suficientemente drenados que permiten la evacuación más o menos completa de la sílice y de las bases liberadas.
- Los óxidos libres de Fe son abundantes y confieren al perfil un tinte color rojo u ocre.
- Se pueden distinguir tres procesos fundamentales, que actuando sobre un mismo material originario evolucionan según los factores clima y tiempo.

Fersialización

Es característico de los climas subtropicales y tropicales, con estación seca marcada, en los que predominan las arcillas 2:1 (illitas y montmorillonitas) y se empiezan a individualizar los óxidos de Fe con aparición de colores rojizos y presencia de un **horizonte argílico (Bt)** por lixiviación (lessivage).

Es típico de bosques caducifolios o incluso de sabanas (500 a más de 1000 mm). Presente en Alfisoles



Ferruginación

Es más intenso que la Fersialización, en el cual las arcillas 2:1 son menos importantes que las del tipo 1:1 (caolinita), originadas por neoformación.

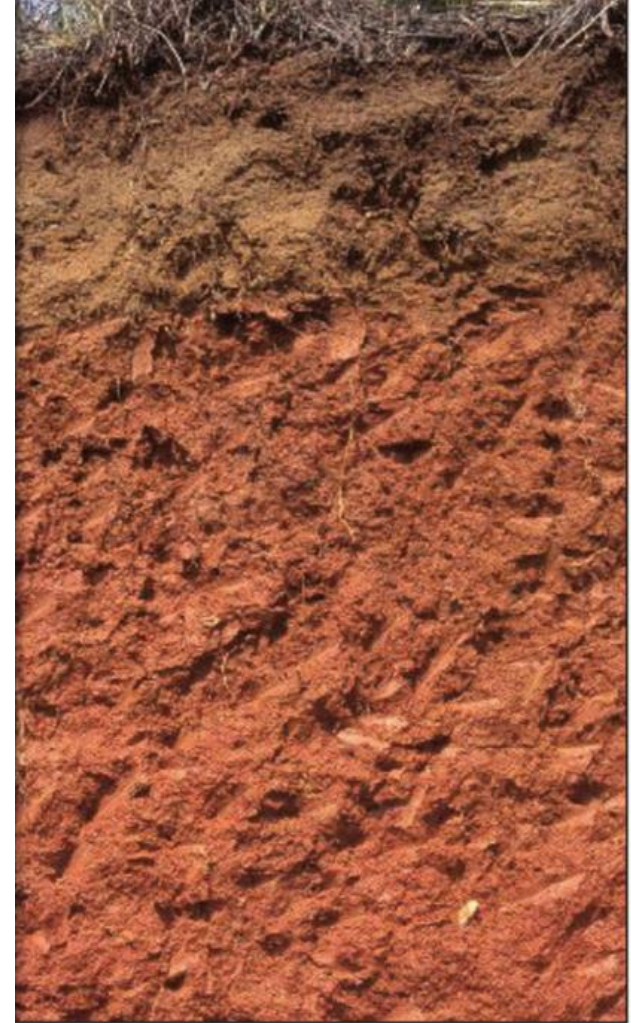
La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es baja. También hay liberación de óxidos de Fe, pero no de Al.

Aparece en las zonas subtropicales húmedas y en las tropicales con una estación seca, pero menos marcada que para la Fersialización.

En este proceso, al igual que en el anterior, el lessivage de las arcillas origina un **horizonte Bt iluvial**, y también hay remoción de sales solubles y carbonatos.

Adicionalmente el Si es también parcialmente movilizado

Este proceso caracteriza específicamente a varios suelos que pertenecen al orden de los Ultisoles y a algunos Alfisoles



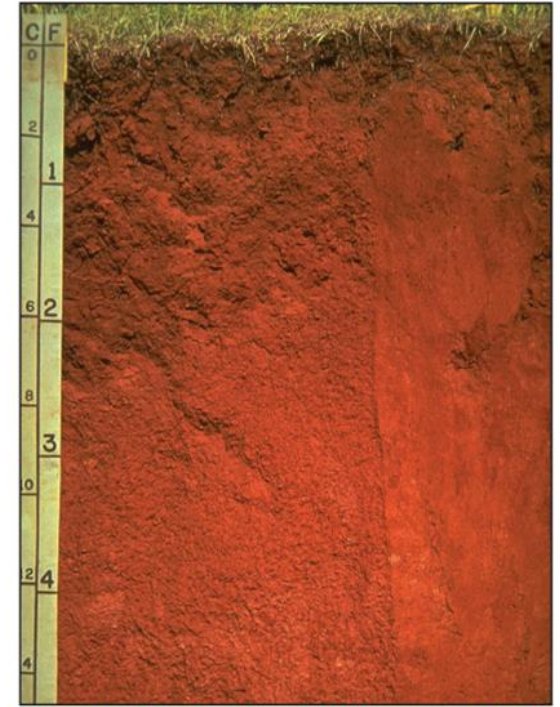
Ferralitización

Fase avanzada de la evolución de los suelos que caracteriza a las regiones tropicales húmedas y muy húmedas.

Es un proceso intenso, lento y muy prolongado en el que se produce una meteorización química prácticamente total de los minerales primarios, excepto del cuarzo.

Hay una completa eliminación de las sales solubles, del calcáreo, de los cationes y del silicio, quedando el solum constituido por una fase residual constituida por sesquióxidos de Fe y Al (óxidos coloidales) y arcillas tipo 1:1 (caolinitas).

La presencia dominante de los óxidos de Fe férrico, le da colores rojizos en los que se individualiza uno o más **horizontes Bo** (óxicos).



La CIC es muy baja y la reacción química es ácida. Aunque se deposita anualmente en la superficie del suelo una gran cantidad de materia orgánica, ésta es biodegradada, por lo cual no interviene en el proceso, el cual es enteramente geoquímico. Los horizontes no están claramente diferenciados, con límites difusos y muchas veces arbitrarios. Los suelos resultantes del proceso de ferralitización corresponden al orden de los **Oxisoles**

Procesos ligados a las condiciones físico-químicas del lugar



Estos procesos se dan cuando hay un fuerte descenso de potencial redox en un medio saturado con agua y la presencia de Na en cantidad anormal en el medio.

Son dos condiciones físico químicas estacionales que ejercen una acción predominante sobre la que puede ejercer la materia orgánica, incluso aunque ésta sea muy abundante.

Una de ellas es el **hidromorfismo** y la otra la **salinización/sodización**

Gleización o Hidromorfía

Es un proceso de reducción o de segregación local de hierro libre, debido a la saturación permanente o temporaria de los poros del suelo por agua, que en general procede de una capa de agua temporal suspendida o profunda. Es un proceso que se manifiesta en los suelos con régimen **ácuico y perácuico** de humedad, que corresponde a un régimen reductor en el suelo, caracterizado por encontrarse virtualmente libre de oxígeno disuelto, por estar saturado con agua subterránea o del frente capilar.

Endosaturación: cuando el suelo está saturado con agua en todos los horizontes, desde el límite superior de saturación hasta una profundidad de 200 cm o más.

Episaturación: cuando el suelo está saturado con agua en una o más capas dentro de los 200 cm, desde la superficie mineral y también tiene una o más capas insaturadas. La zona de saturación, la capa freática, está apoyada en la superficie de una capa u horizonte relativamente impermeable.

Saturación anthrica: es una variante de la episaturación asociada con las inundaciones controladas por el hombre (ejemplo: cultivo de arroz), que generan capas saturadas en superficie e insaturadas en profundidad.

Pseudogley

Este proceso se desarrolla en los suelos que poseen un régimen de **episaturación**, en el que se produce una óxido-reducción importante. La capa freática se apoya sobre una capa impermeable llamada hidroapoyo, generando una intrazonalidad condicionada fundamentalmente por el relieve de tipo subnormal o cóncavo, con escurrimiento lento o nulo.

Se produce en todos los climas que sean lo suficientemente húmedos como para generar, por lo menos localmente, excesos temporarios de agua.

La vegetación puede ser variada, pero con predominio de plantas higrófilas.

La acumulación de materia orgánica juega un rol importante en la reducción y movilización del Fe y del Mn, ya que forma complejos orgánicos metálicos solubles de Fe y Mn reducidos que migran en cortas distancias.

Luego, durante el período de instauración, se produce la reoxidación y precipitación localizada en forma de manchas herrumbrosas o de concreciones que constituyen los signos de hidromorfía típicos del pseudogley. También son reducidos, entre otros, los nitratos y los sulfatos.



Gley

Este proceso se desarrolla en los suelos que poseen un régimen de **endosaturación permanente**. En este caso, todo el Fe se reduce y se acumula en la base del perfil, en forma de carbonato ferroso o de sales complejas de colores verduzco azulados, dando origen al horizonte gley (al igual que el pseudogley, también se simboliza con el subíndice **g**).

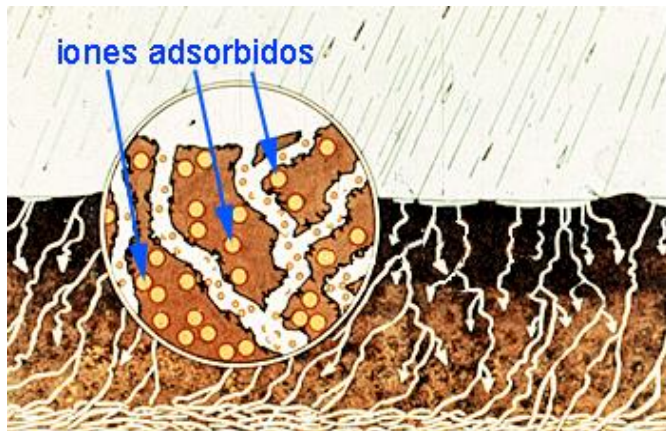
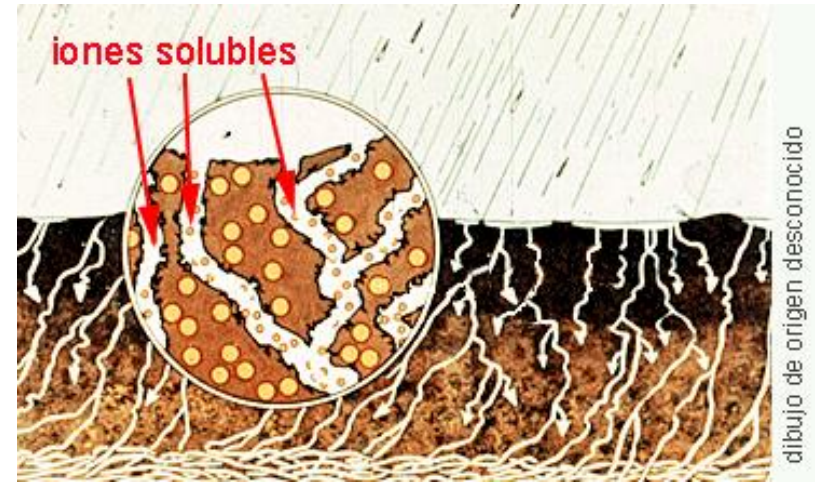
Es también un típico proceso intrazonal condicionado por el relieve que se desarrolla independientemente del clima general. Domina marcadamente el proceso de reducción en los horizontes profundos ocupados permanentemente por la capa de agua muy reductora.



Cuando la permanente saturación con agua genera fuertes condiciones reductoras sobre la materia orgánica del suelo y la actividad biológica es escasa se originan las **turberas**. Las condiciones del medio impiden o hacen muy lenta e incompleta la descomposición de la materia orgánica fresca y la humificación es débil, lo que lleva a su acumulación en capas de gran espesor. La acumulación de los depósitos orgánicos está condicionada por la cantidad que aporta la vegetación y la velocidad de descomposición del material orgánico, condicionada esta última por la condición climática (generalmente fría) y por la disponibilidad de oxígeno. Estos procesos llevan a la diferenciación del epipedón **hístico** u **horizontes O**.

Lavado

Se trata de un arrastre y eliminación de los iones disueltos en la solución del suelo. Constituye un proceso que se desarrolla con mayor o menor intensidad en todos los suelos, especialmente importante en los suelos de climas húmedos.

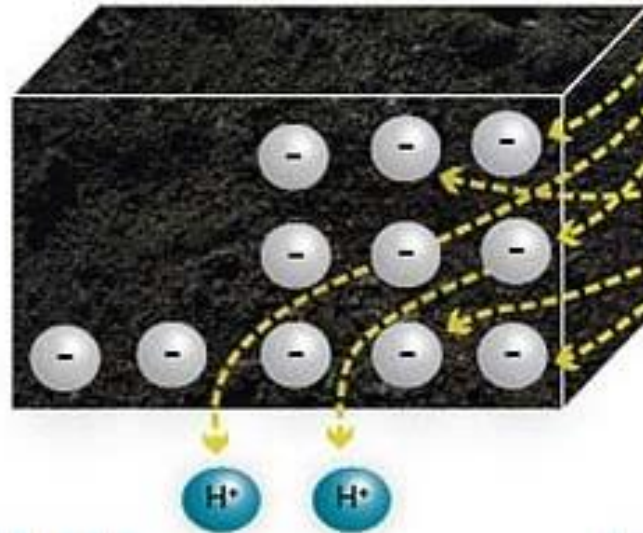


Desbasificación

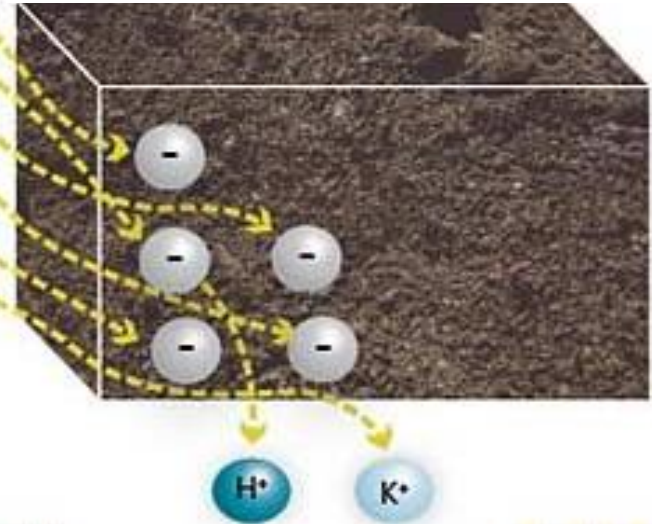
Representa una consecuencia de la intensificación del proceso de lavado, produciéndose el arrastre y eliminación de los iones adsorbidos en el complejo de cambio del suelo (es decir, los iones débilmente retenidos fundamentalmente en las superficies de las partículas del suelo). Es decir que el complejo adsorbente se desatura (en las posiciones de cambio las bases de cambio, como el Ca, Mg, Na y K son sustituidos por hidrogeniones de cambio). Proceso igualmente especialmente representativo de los suelos de climas húmedos

CIC

Mayor contenido de arcilla o MOS.
Mayor CIC



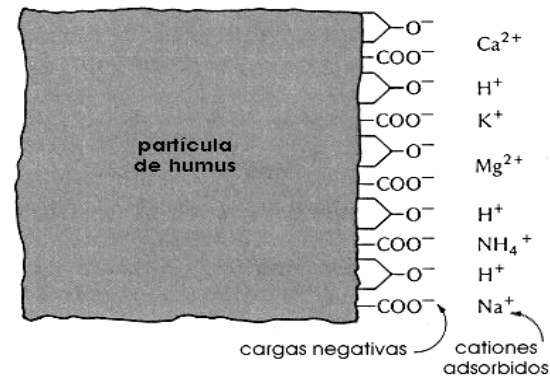
Menor contenido de arcilla o MOS.
Menor CIC

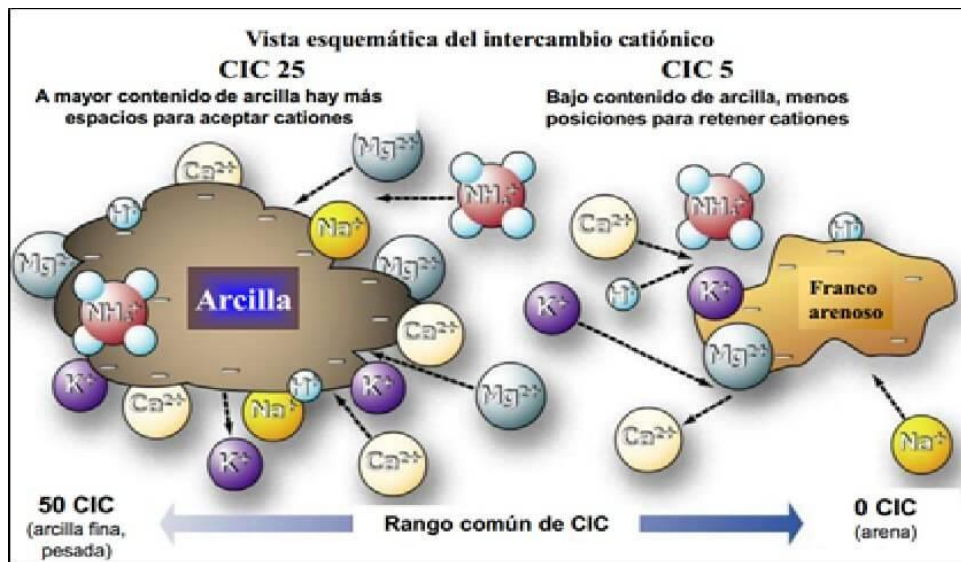


- H⁺
- Ca²⁺
- Mg²⁺
- NH₄⁺
- Na⁺
- K⁺

Coloides orgánicos

- Disociación de los OH
- Disociación de los COOH





Arcillas	
Caolinita	3-15
Illita	15-40
Montmorillonita	80-100
Materia orgánica	200-400
Textura del suelo	
Arena	1-5
Arenoso franco a franco arenoso	5-10
Franco	5-15
Franco Arcilloso	15-30
Arcilloso	>30

Capacidad de intercambio aniónico (CIA)

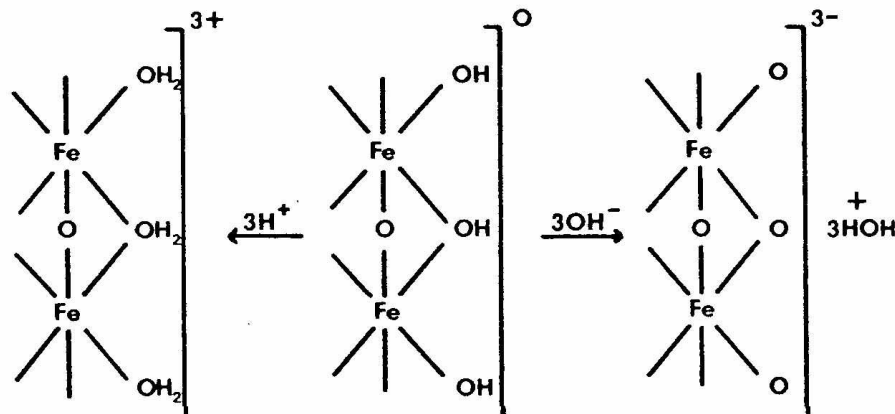
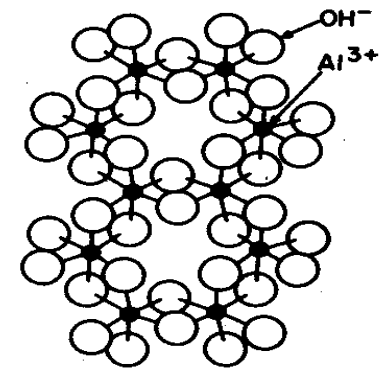
- Capacidad que posee un suelo de adsorber aniones intercambiables y es equivalente a la carga positiva del mismo.
- Es importante en suelos con altos contenidos de sesquióxidos de Fe y Al y en suelos tropicales fuertemente intemperizados, sobre todo a pH bajo.

- ▶ Se produce a través del desarrollo de cargas positivas en arcillas y sustancias orgánicas del suelo.
- ▶ Es en cantidad, significativamente menor que la CIC.
- ▶ En suelos normales la CIA llega a valores de 0.2 - 2 cmolc kg⁻¹.
- ▶ En suelos tropicales con alto contenido de caolinita y arcillas de óxidos o en suelos ácidos de alófonos pueden encontrarse valores de 10-15 cmolc kg⁻¹ o más.

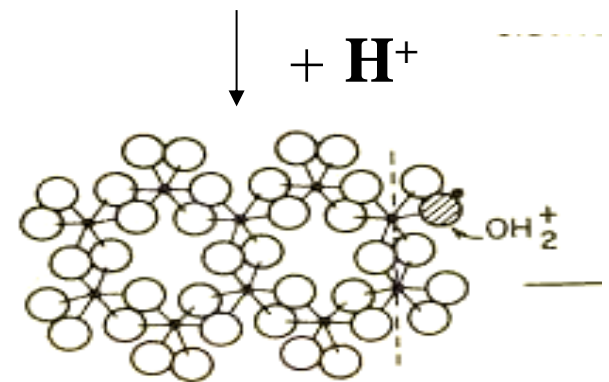
Capacidad de intercambio aniónico (CIA)

Cantidad de aniones retenidos en forma intercambiable a un pH determinado. Los aniones del suelo (nitratos, fosfatos, cloruros y sulfatos) pueden ser retenidos por los coloides del suelo, principalmente a pH's ácidos.

- Tipo de cambiador.
- pH del medio.
- Anión afectado.
- Concentración del anión.
- Contenido y tipo de MOS.

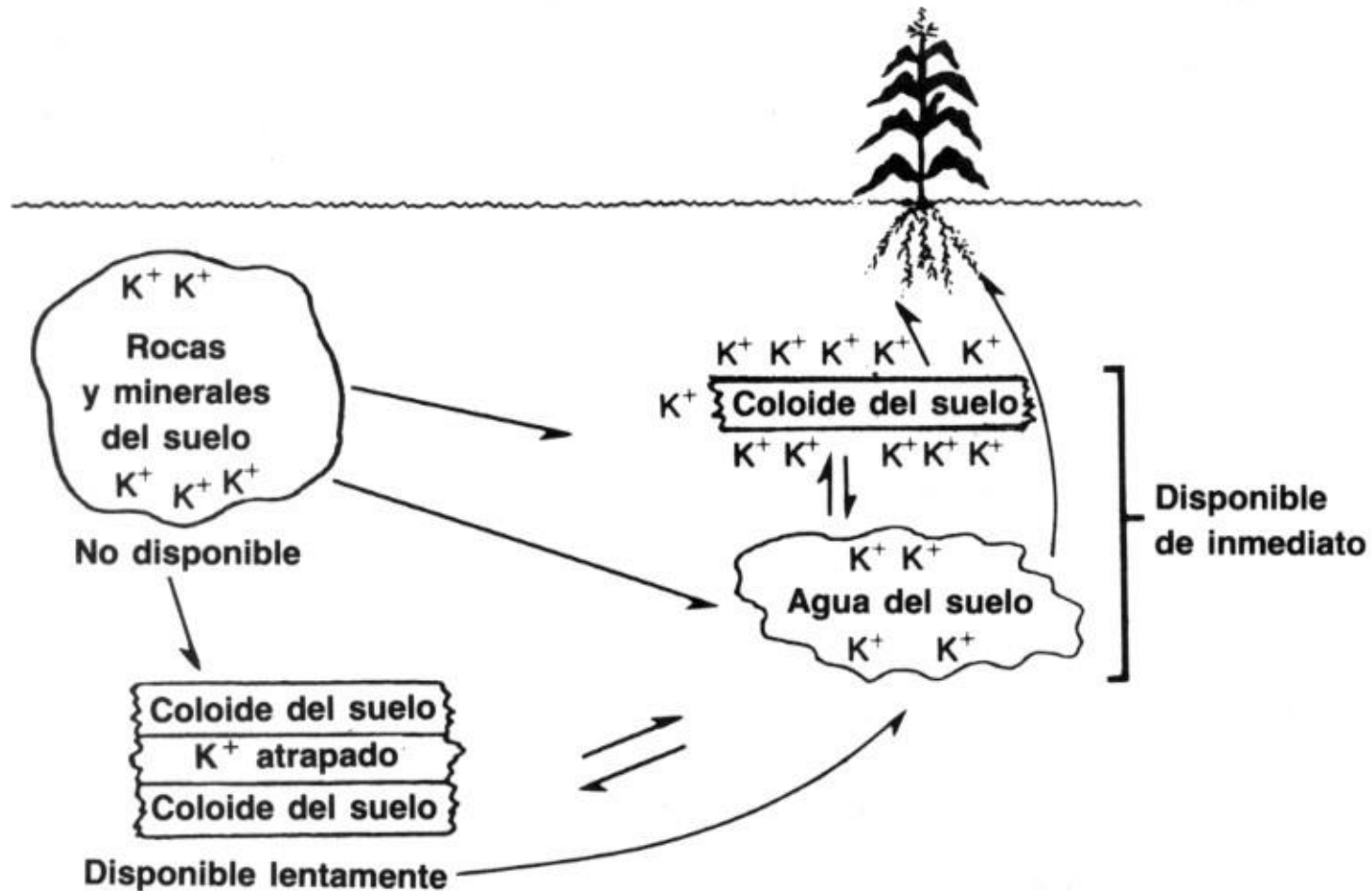


GOETITA



GIBBSITA

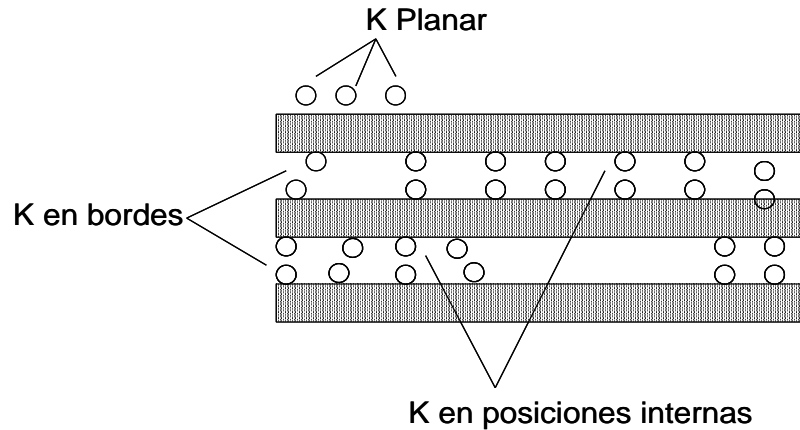
Fijación de cationes en arcillas 2:1 y 2:2 (K^+ , NH_4^+)



Montmorillonita, Illita, Moscovita, Vermiculita, Clorita.

Puntos de adsorción de potasio en el suelo

(modificado de Mengel y Haider, 1973)



K- Planar:

Baja selectividad

Fácilmente intercambiable por cualquier ión positivo

K- Bordes:

Mayor retención

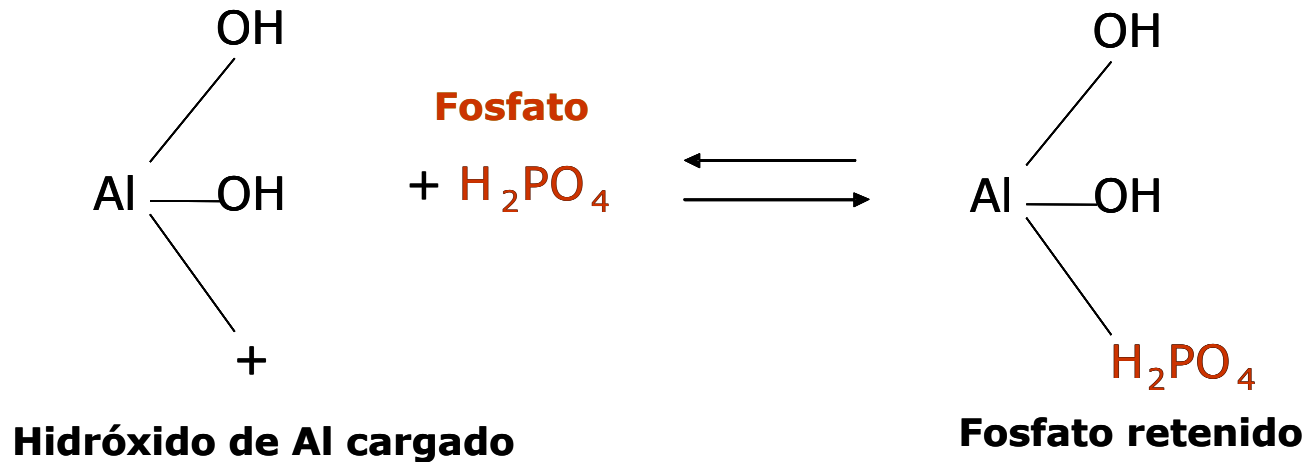
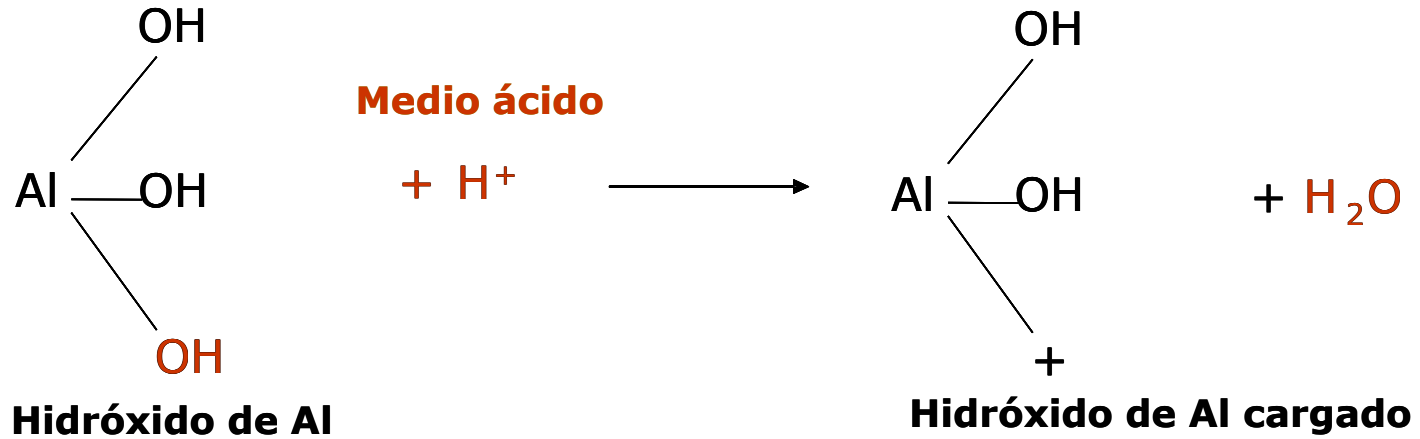
Intercambiable

K- Superficies internas

Alta selectividad

Intercambiable solo la concentración del ión desplazante es muy alta (Ej. Ca^{+2})

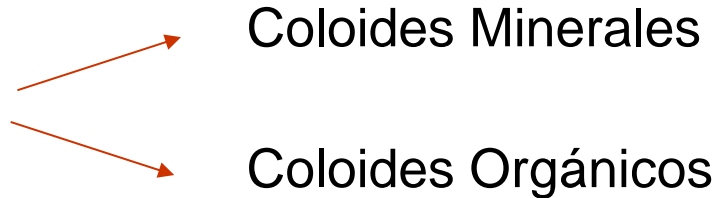
Fijación de aniones en Arcillas 1:1 (H_2PO_4^- , SO_4^{2-})



Intercambio Ionico

Interfase RAÍZ – SOLUCIÓN – SUELO

Adsorción



Estructura del Mineral (Permanente)

Ruptura de bordes y grupos funcionales (Variable)

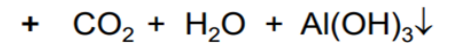
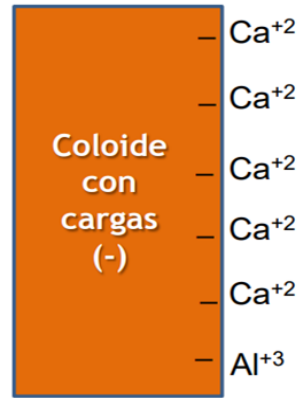
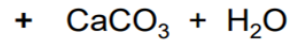
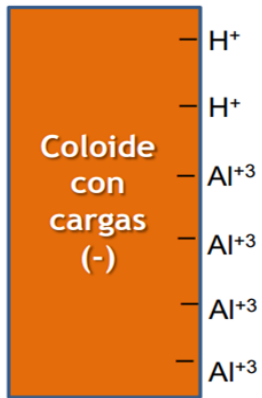
Intercambio Catiónico (CIC)

Carga - ← Cationes (Ej. NH_4^+ , K^+ , Ca^{++})

Intercambio Aniónico (CIA)

Carga + ← Aniones (Ej. H_2PO_4^- , $\text{SO}_4^{=}$)

Fijación (K^+ , NH_4^+ , H_2PO_4^- , $\text{SO}_4^{=}$)



Gypsificación

Es el proceso responsable de la acumulación de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

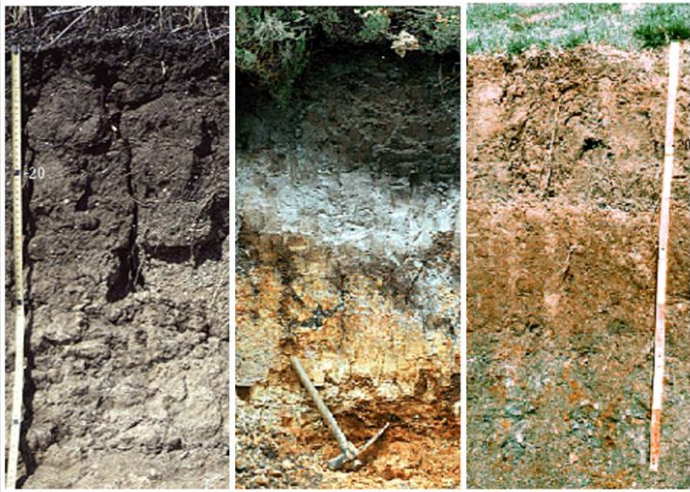
Forma acumulaciones blancas, parecidas a las de los carbonatos, pero fácilmente distinguibles en el campo por no dar efervescencia con HCl y en el microscopio, pues los cristales de yeso presentan formas rombales, con colores de interferencia grises (en la microfotografía adjunta los cristales de yeso se encuentran incluidos en una matriz de carbonatos microcristalinos y de color amarillo/marrón).

El yeso es más soluble que los carbonatos por lo que es muy móvil en el suelo.

Es típico de las regiones más o menos áridas.



Horizonte E



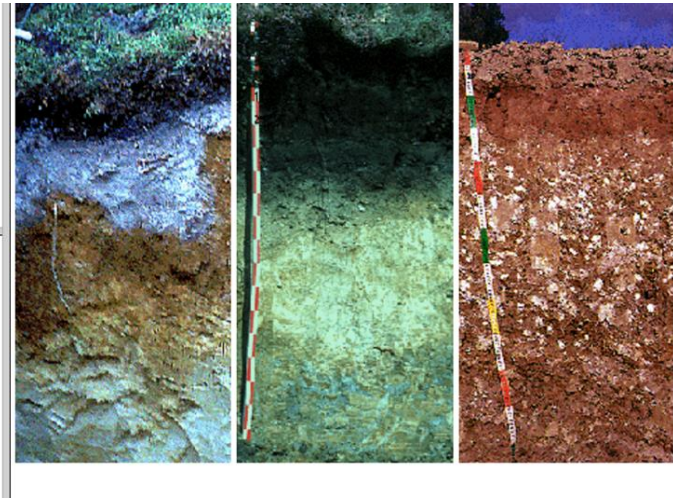
Horizonte A enterrado



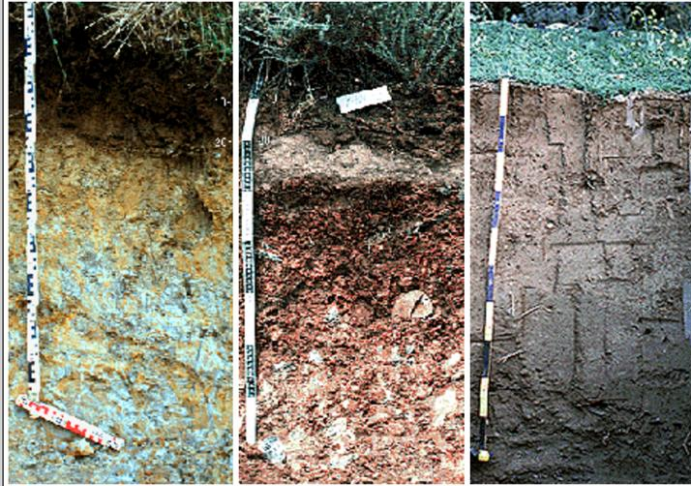
Horizonte H



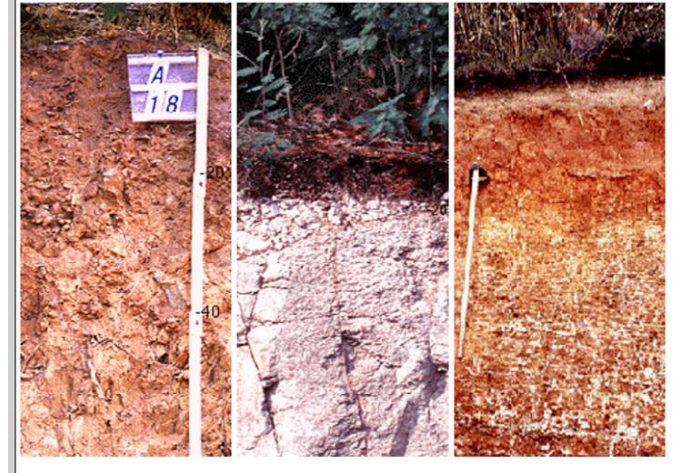
Horizonte Bs



Iluviación de arcilla



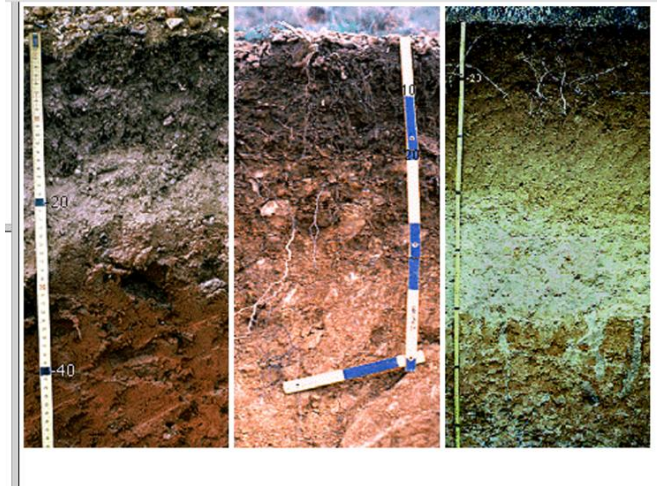
Gleyzación



Carbonatación



Reducción



Salinización: Suelos afectados por sales

- Generalmente se encuentran en regiones en donde la relación P/ET_o es menor a 0,75 y/o en aquellas áreas planas con capas freáticas altas cargadas de sales que suben por ascenso capilar del agua y se depositan en los horizontes superficiales por evaporación de la misma.
- También puede ocurrir que la salinización se deba a materiales originarios ricos en sales, o ricos en minerales que por alteración producen sales sódicas, o poco permeables que impidan el lixiviado de las sales (esta última condición determina la existencia de suelos salinos en regiones de climas más húmedos).
- Un suelo salino tiene una cantidad suficiente de sales solubles que altera el crecimiento de las plantas no halófitas.



- También puede ocurrir el proceso de salinización en las áreas irrigadas en las que se altera el balance de agua (aún con agua de riego buena calidad) porque se recarga la capa freática
- Esto se agrava si el agua utilizada para riego de los cultivos tiene una elevada carga de sales solubles. Las sales solubles más comunes de los suelos salinos son sales neutras como sulfatos y cloruros de sodio, potasio, calcio y magnesio. Los suelos resultantes se encuentran flocculados y su reacción química es cercana a la neutralidad.



- Las condiciones de relieve y de material original constituyen factores locales, que confieren al proceso de salinidad el carácter de intrazonalidad.
- En estos suelos hay muy poca adición de materia orgánica debido al escaso desarrollo de vegetación y el perfil es en general escasamente diferenciado.
- La aparición de un horizonte **sálico (z)** en profundidad se debe a la transferencia y deposición de sales solubles que pueden observarse como incrustaciones o pseudomicelios blancos en el perfil.

Sodificación Sodización Solonización

Cuando el ion Na, en equilibrio con el complejo de cambio, será adsorbido a los coloides del suelo en un porcentaje mayor al 15 de la CIC.

Este proceso se conoce como sodización y los suelos resultantes corresponden a suelos salinos sódicos que se encuentran floclados.

Si las sales solubles son removidas por el agua de lluvia o por un descenso del nivel freático, las arcillas sódicas se hidrolizan liberando Na^+ a la solución del suelo, donde se une al H_2CO_3 para formar Na_2CO_3 o NaHCO_3 .

El pH puede superar valores de 8,5, provocando que el humus y las arcillas se dispersen. Este proceso recibe específicamente el nombre de alcalinización o solonización.

El humus disperso puede formar delgadas costras de color negro en la superficie del suelo o tapizar las caras de los agregados.

Es importante tener en cuenta que en los suelos salino sódicos, una mejora en las condiciones de drenaje o cualquier factor que aumente la infiltración de aguas dulces, desencadena el proceso de solonización. Las sales solubles son parcial o totalmente eliminadas del perfil según sea el grado de evolución alcanzado. La importancia de los factores locales, especialmente relieve, determina el carácter intrazonal del proceso.



... Sodificación Sodización Solonización

Los coloides se dispersan, los agregados son menos estables y se rompen, hay menos macroporos y disminución de la permeabilidad y la infiltración.

Además, del elevado pH, ocurre toxicidad de iones Na^+ , OH^- y HCO_3^-

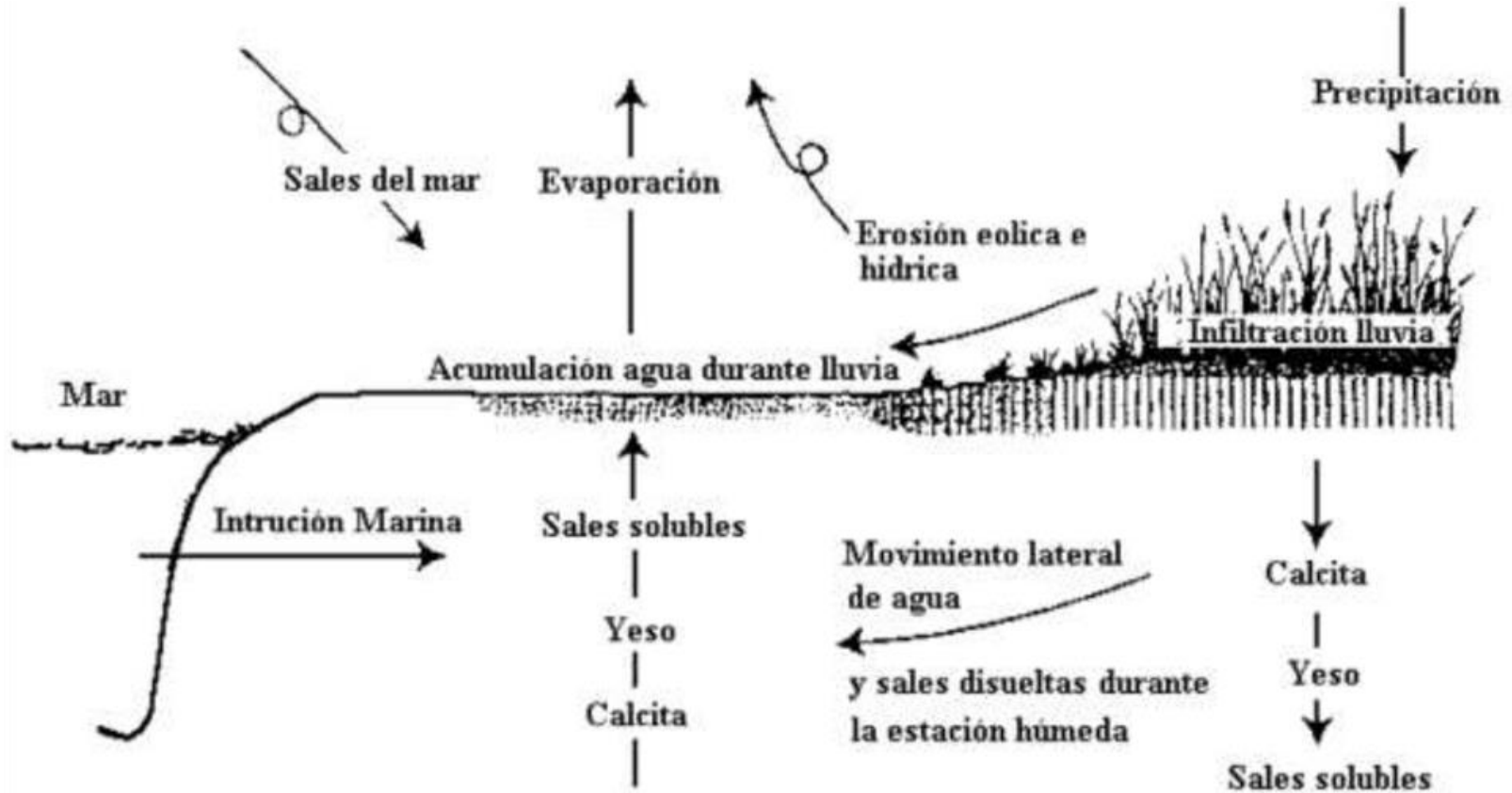
Las arcillas dispersas quedan sujetas a lixiviación, dando lugar a un horizonte iluvial enriquecido en arcilla, el **horizonte nátrico o Btn**, de estructura columnar o prismática.

Algunos suelos salino sódicos de climas muy húmedos pueden desaturarse en bases en sus horizontes superiores, mostrando valores de pH fuertemente ácidos por reemplazo del ión Na^+ por iones H^+ y Al^{3+} .

En estos suelos, la proporción de Na intercambiable aumenta progresivamente en el horizonte **nátrico**, el cual puede alcanzar valores de pH superiores a 9.



Salinización



- Evaporación > Lavado

- Bajo potencial de agua durante estación húmeda

- Lavado > Evapotranspiración

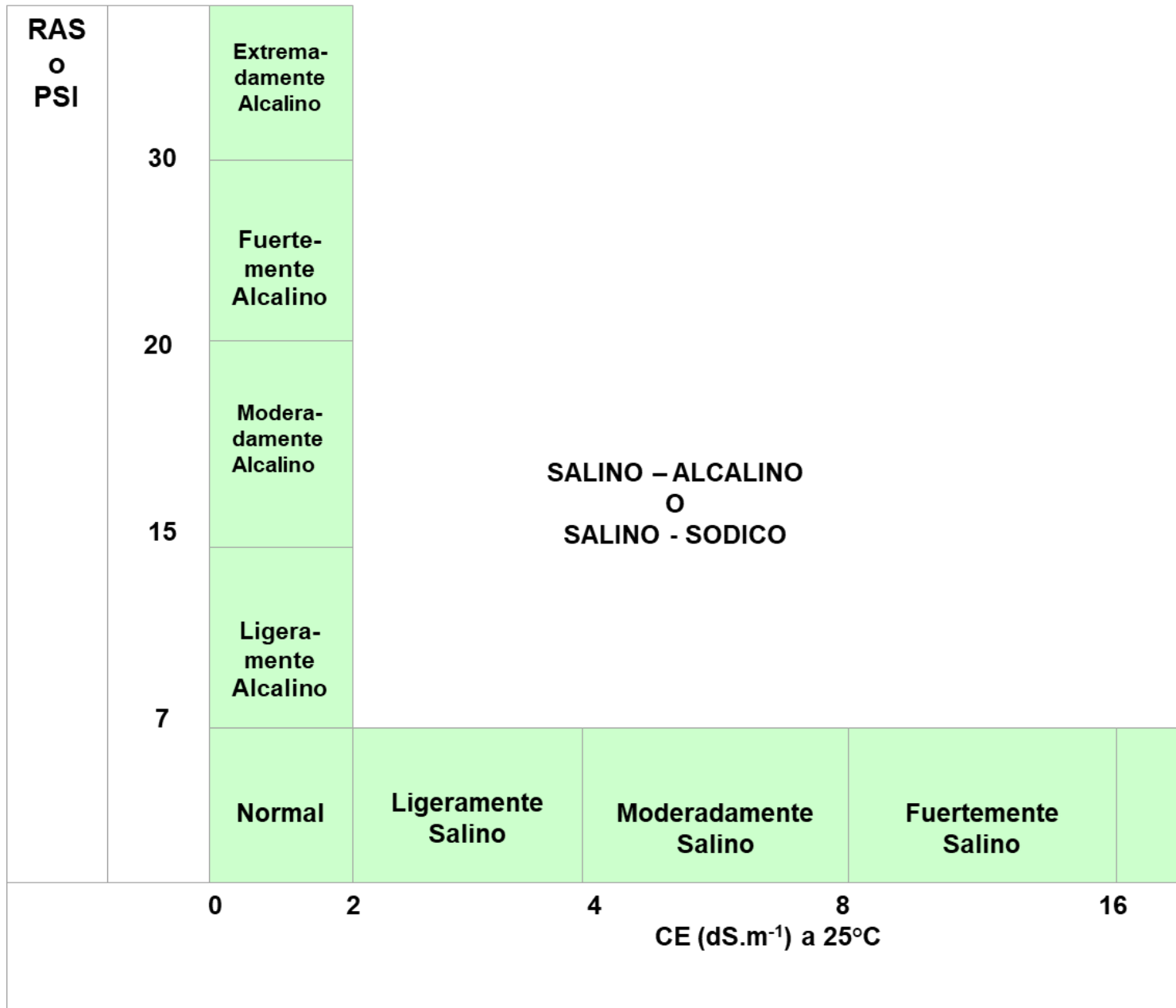
- Alto potencial de agua durante estación húmeda

Salinización

AGUA		
Agua con baja CE $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$ $\text{Ca} + \text{Mg} > \text{Na}$	Agua con alta CE $\text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{HCO}_3$ $\text{Na} > \text{Ca} + \text{Mg}$	
SUELO		
Drenaje deficiente	Drenaje adecuado	Drenaje deficiente
CLIMA		
Árido		Árido, semi árido
TIPO DE SUELO AFECTADO		
Suelo Salino Alta CE $\text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{HCO}_3$ $\text{Na} \gg \text{Ca} + \text{Mg}$ Precipitación de: CaCO_3 , MgCO_3 y $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Suelo Salino Alta CE $\text{SO}_4 > \text{Cl} \gg \text{HCO}_3$ $\text{Na} > \text{Ca} + \text{Mg}$ Precipitación de: CaCO_3 , MgCO_3 y a veces $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Suelo Salino Alta CE $\text{SO}_4 > \text{Cl} \gg \text{HCO}_3$ ($\text{Cl} > \text{SO}_4 \gg \text{HCO}_3$) $\text{Na} > \text{Ca} + \text{Mg}$ ($\text{Na} < \text{Ca} + \text{Mg}$) Precipitación de: CaCO_3 , MgCO_3 y $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Sodificación

AGUA			
Agua con baja CE $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$ $\text{Ca} + \text{Mg} > \text{Na}$	Agua con baja CE $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$ $\text{Na} > \text{Ca} + \text{Mg}$ $\text{HCO}_3 > \text{Ca} + \text{Mg}$		
SUELO			
Drenaje deficiente	Drenaje adecuado	Drenaje deficiente	
CLIMA			
Clima con distribución estacional de lluvias. Déficit de agua en una estación seguida de exceso en otra. Lluvias intensas	Clima árido	Clima semi árido a húmedo	Clima árido
TIPO DE SUELO AFECTADO			
Suelo Salino Sódico Alta CE $\text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{HCO}_3$ $\text{Na} \gg \text{Ca} + \text{Mg}$ Precipitación de: $\text{CaCO}_3, \text{MgCO}_3$	Suelo Sódico Media a baja CE $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$ $\text{Na} \gg \gg \text{Ca} + \text{Mg}$ Precipitac. de: $\text{CaCO}_3, \text{MgCO}_3$	Suelos Sódico Media a baja CE $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$ $\text{Na} \gg \gg \text{Ca} + \text{Mg}$ Precipitación de: $\text{CaCO}_3, \text{MgCO}_3$	Suelo Salino Sódico Alta CE $\text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{HCO}_3$ $\text{Na} \gg \gg \text{Ca} + \text{Mg}$ Precipitación de: $\text{CaCO}_3, \text{MgCO}_3$
Suelo Salino Sódico Alta CE $\text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{HCO}_3$ $\text{Na} \gg \gg \text{Ca} + \text{Mg}$ Precipitación de: $\text{CaCO}_3, \text{MgCO}_3$	Suelo Sódico Media a baja CE $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$ $\text{Na} \gg \gg \text{Ca} + \text{Mg}$ Precipitac. de: $\text{CaCO}_3, \text{MgCO}_3$	Suelos Sódico Media a baja CE $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$ $\text{Na} \gg \gg \text{Ca} + \text{Mg}$ Precipitación de: $\text{CaCO}_3, \text{MgCO}_3$	Suelo Salino Sódico Alta CE $\text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{HCO}_3$ $\text{Na} \gg \gg \text{Ca} + \text{Mg}$ Precipitación de: $\text{CaCO}_3, \text{MgCO}_3$
Condiciones reductoras y materia orgánica			Lixiviación
Suelo Sódico $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$ $\text{Na} \gg \gg \text{Ca} + \text{Mg}$ Precipitación de: $\text{CaCO}_3, \text{MgCO}_3$			Suelo Sódico Baja CE $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$ $\text{Na} \gg \gg \text{Ca} + \text{Mg}$



Paludización

Este proceso es el responsable de la formación de los **Histosoles**; se define como la acumulación de una masa gruesa (> a 30 cm) de materiales orgánicos en un sitio con mal drenaje o asociada a movimientos ascendentes del nivel freático, donde la preservación en condiciones anaeróbicas ha permitido una ganancia neta a través del tiempo.



La formación de Histosoles se divide en tres procesos:

1. translocación dentro del cuerpo del suelo, es decir, la paludización;
2. transformación de materiales en el interior del cuerpo de un suelo, la maduración (cambios químicos, biológicos y físicos en los suelos orgánicos después de que el aire penetra en los depósitos orgánicos, haciendo posible que florezcan las actividades microbianas),
3. la mineralización, liberación de óxidos sólidos mediante la descomposición de materias orgánicas

Andolización

FACTORES FORMACION

CLIMA

Precipitación > 500 mm
 T > 0°C < 22°C
 "PP > EVPT; 1H > 1"

Muy húmedo y húmeda,
 Eventualmente secas (subhúmedas)

ORGANISMOS

Vegetación y biota edáfica
 Característica de zonas muy
 Húmedas y húmedas;
 Eventualmente secas

MATERIAL PARENTAL

Materiales piroclásticos abundantes en
 Vidrio volcánico, feldespatos y
 Ferromagnesianos (anfíboles, piroxenos,
 Biotita, etc.)

Escorias, tobas, lapille, arenas y cenizas
 Volcánicas (tefras en general)

Superficies con pendientes desde poca
 Inclinación; hasta cercanas al 75%
 (Montaña, piedemonte, lomerío,
 Planicies)

DIMENSION TEMPORAL

Relativamente
 Maduros
 Holoceno

Presencia y
 Espesor Bw y
 Espesor del A

RELIEVE

PROCESOS DE FORMACION

TRANSFORMACIONES

Síntesis Alófana
 Óxidos Hidratados AL-Fe
 Catalización e interacción
 Húmica: Ácidos Húmicos-Alófana
 Ácidos Húmicos-Hidroxi-alumina
 (Aluminio Activo)

Mull Andico ((ácidos h[úmicos pardos,
 Ácidos fulvicos; ácidos húmicos tipos
 A, B
 Y P)

GANANCIA

M.O. Humificación mayor que
 mineralización

PERDIDAS

Bases, Si
 Ácidos Húmicos-Hidroxi-alumina

TRANSLOCACION

Intrascendentes

ANDOLIZACION

CARACTERISTICAS DEL SUELO

MORFOLOGIA



MICROMORFOLOGIA

Distribución relacionada de los
 constituyentes gruesos y
 Finos (c7f) porfídica; f[abrica del
 material fino sin diferenciar
 (isotica) por Alófana y M, O

Abundancia minerales primarios
 Blocosa subangular y granular

No presentan rasgos pedológicos
 relevantes

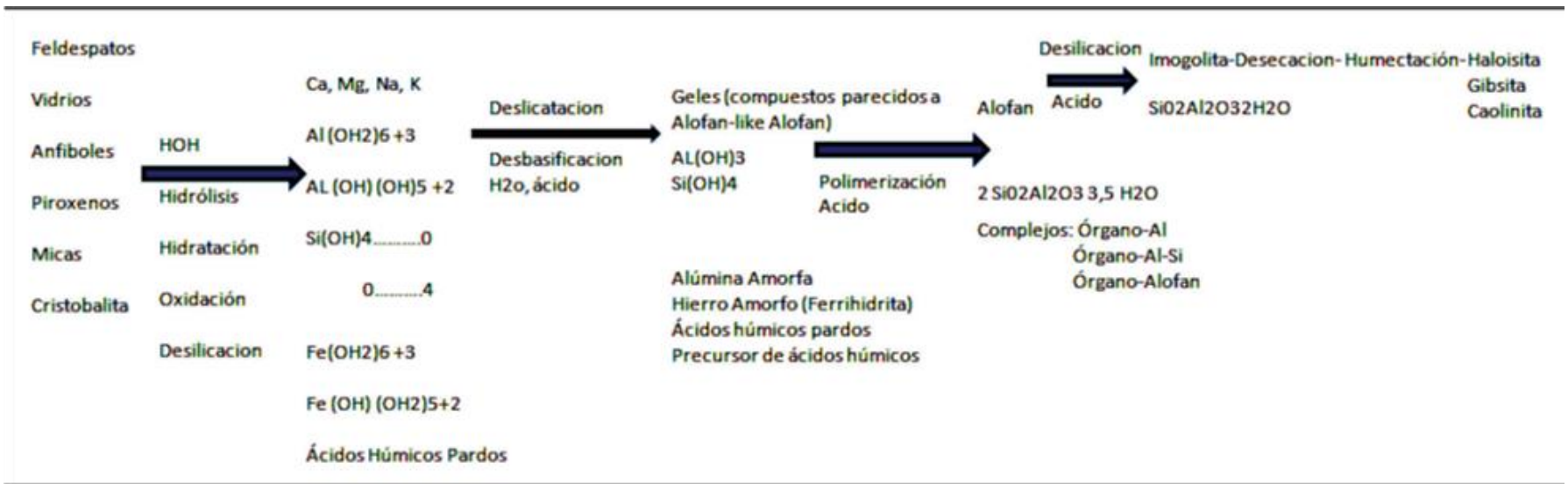
Arena: Feldespatos,
 ferromagnesianos, etc.

Arcilla: Alófana, óxidos AL-Fe,
 Imogolita, Haloisita,
 Ferrhidrita, dominantes o en mezclas
 adecuadas.

Físicas
 Adecuadas.
 Estructura granular o en bloques
 subangulares
 Humedad altas
 Rehúmedecación deficiente
 Tixotropía notoria
 Densidad aparente baja (inferior a 0.9 g
 /cc)

QUIMICAS

Fosforo, poder buffer, altas en general
 Insolubilización a causa complejo Alófano-
 Humus.
 Ácidos Húmicos tipos A y P
 Acido y alta estabilidad de la materia
 orgánica



La **andolización** es un proceso específico y continuo; específico porque difícilmente se produce en otros materiales parentales aparte de los materiales piroclásticos, ya que se requiere la existencia de componentes vítreos lábiles muy reactivos con elevada superficie específica por unidad de volumen, condición que se presenta solo en piroclásticos.

El proceso es continuo y se produce término a término, y los productos señalan niveles de estabilidad, es decir, predominio de una especie en tiempos y ambientes determinados, sin que la transición se detenga, de modo que una serie de efectos intermedios debe producirse.

Todos los términos de la secuencia de meteorización son metaestables y se hacen más estables a medida que el proceso avanza en el orden: protoalofan–alofan–haloisita–metahaloesita-caolinita desordenada

PRIMERA ETAPA: alteración pre-edafológica.

Se trata de la primera alteración de los piroclastos en general, que tiene lugar antes de la colonización por la vegetación y de la incorporación de la materia orgánica.



En esta etapa los vidrios se hidratan y se originan bolas esféricas amorfas que evolucionan por cristalización progresiva, dando arcillas tipo montmorillonita neoformadas en un medio generalmente rico en sílice y cationes alcalinotérreos.

Posteriormente, bases y sílice son eliminadas rápidamente, el medio se acidifica y aparecen arcillas más pobres en sílice, imogolita y haloisita, en la secuencia: alófana-imogolita -haloisita.

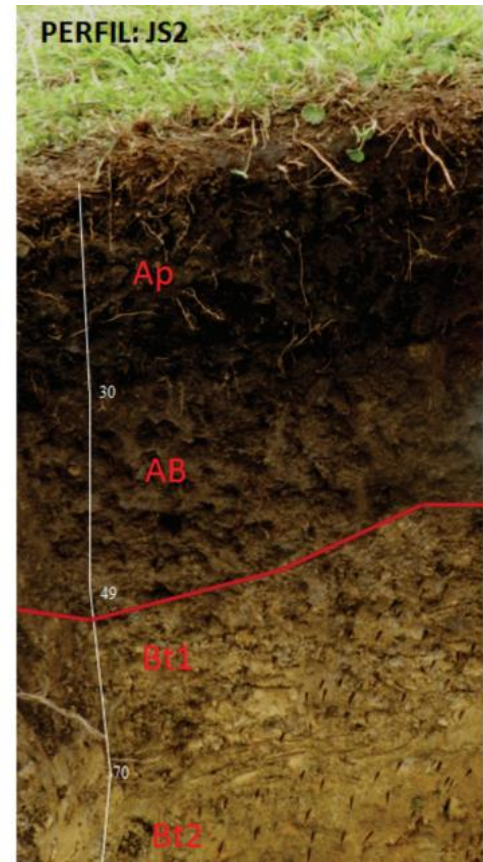
SEGUNDA ETAPA: acción de la materia orgánica.

Dada por la incorporación al suelo de cantidades importantes de sustancias hidrosolubles de la hojarasca; esta es la fase de edafogénesis, durante la cual la alteración se acelera y toma el carácter de una acidólisis.

En esta etapa los componentes húmicos preservan la condición amorfa de los geles minerales impidiendo la neoformación de arcillas cristalinas, y, aunque los hidróxidos de hierro y aluminio están inmovilizados, no ocurre lo mismo con la sílice y las bases, las cuales son eliminadas progresivamente en estado soluble; incluso parece probable que la incorporación de materia orgánica acelere la eliminación de la sílice soluble.

En contrapartida, los compuestos minerales amorfos ejercen a su vez, principalmente a través de la alúmina, un efecto importante sobre la evolución de la materia orgánica.

Estos compuestos mantienen una humedad constante y, por lo tanto, aceleran la descomposición de la materia orgánica fresca, pero a su vez estabilizan y protegen los compuestos humificados contra la biodegradación microbiana, de tal forma que estos se acumulan en cantidad considerable en el perfil de suelo.



TERCERA ETAPA: evolución por envejecimiento de los geles mixtos.

Una doble poli condensación afecta de una parte a la fracción orgánica y de otra a la fracción mineral de los complejos; se trata de la evolución normal de los complejos órgano–minerales, relacionada con las alternancias estacionales de humectación y desecación, en la que los aniones complejantes evolucionan por poli condensación formando moléculas cada vez más voluminosas.

En los **Andisoles (Andosoles)**, los complejos más viejos, presentes en el centro de los agregados órgano- minerales están formados por ácidos húmicos, mientras que los complejos recientes, en posición periférica, son ácidos fulvicos más jóvenes y poco condensados.

Los cationes complejados se transforman polimerizándose y perdiendo sus cargas poco a poco, así: complejos verdaderos complejos de adsorción - formas libres (Al^{+3} $Al(OH)_2 \rightarrow Al(OH)_2 \rightarrow Al(OH)_3$).



En los suelos con influencia de materiales volcánicos, se pueden presentar dos tipos de complejo coloidal altamente reactivo:

- uno formado por partículas de tamaño arcilla y con altos contenidos de Al y de Fe activos, provenientes de la alteración de los materiales volcánicos y que son la alofana, la imogolita y la ferrihidrita,
- el otro, formado por complejos humusAl/Fe.
- Ambos complejos tienen una relación inversa en el suelo pues las condiciones de formación de cada uno son opuestas

el complejo alumina– humus se origina en medios pedogenéticos ricos en materia orgánica y con valores de $\text{pH} \leq 5$.

La alófana e imogolita se forman preferencialmente en medioambientes de alteración con valores de pH entre 5 y 7 y con bajo contenido de complejantes orgánicos; en estas condiciones mientras la ferrihidrita es el oxihidróxido de hierro encontrado comúnmente en andisoles ya que, por su alta estabilidad en la forma oxihidroxido frente al complejo húmico, el elemento genera una cantidad baja de complejo Fe–humus.

La presencia de materiales no cristalinos y humus en los andisoles genera propiedades químicas y físicas particulares como:

- predominio de carga variable
- alta capacidad de retención de agua
- alta retención de fosfatos
- baja densidad aparente
- alta friabilidad y formación de agregados de suelo estables



Atributos del suelo

- ✔ Son los criterios utilizados para: interpretar la información de suelos, para predecir el comportamiento del mismo, o para su clasificación y mapeo.
- ✔ Son características, propiedades o cualidades del mismo que se pueden observar, medir, estimar o inferir a partir de aquellas que se miden o se observan en el suelo.

características, propiedades o cualidades

Características del suelo

son atributos simples, que pueden medirse y que habitualmente se utilizan para describir el suelo.

Ejemplos

Contenido de arcilla	28 %
Color	YR 4/3
Densidad aparente	1.42 Mg m ⁻³
Consistencia en seco	Duro
pH	6.3
P disponible (Olsen)	30 mg kg ⁻¹
RAS	18
K saturada	15 mm h ⁻¹

Propiedades del suelo

son atributos que se miden o se infieren a partir de observaciones directas en campo o de mediciones en laboratorio o campo.

propiedad observada

se puede apreciar directamente en el campo, tal como: consistencia, tipo de estructura, manchas o moteados, grietas, capas compactas, textura, rocosidad



propiedad inferida

se deduce a partir de propiedades observadas o medidas; por ejemplo: aireación, régimen hídrico, grado de desarrollo del suelo

Cualidades del suelo?



- atributo del suelo que puede ser definido por una serie de valores de las variables que reflejan el potencial (ideal) del suelo para realizar una función específica.
- atributos de comportamiento y de rendimiento que no son directamente medibles, sino que se infieren con base en un conjunto de características y propiedades, tales como: disponibilidad de nutrientes, susceptibilidad a la erosión hídrica, clase de drenaje, toxicidades, etc.
- la función del suelo debe ser definida en términos de propiedades y procesos físicos, químicos o biológicos.

Ejemplo:

los atributos del suelo que se pueden utilizar para evaluar qué tan bien un determinado suelo acepta, conserva y dispone de nutrientes en forma intercambiable

Retención de nutrientes

■ Textura	Posibilidades de lavado
■ pH	Rangos de disponibilidad de nutrientes
■ Capacidad de intercambio catiónico	Adsorción de iones. Intercambio iónico
■ Contenido y tipo de arcilla	Cargas negativas (o positivas) Fijación
■ % MO.	Cargas negativas, interacciones con iones

Baja – Media – Alta

Muy baja – Baja – Media – Alta – Muy alta

Cualidades de la tierra ?

son atributos complejos de la tierra que se construyen en base a un conjunto de características de la tierra, las que generalmente se expresan en rangos o grados, y se refieren a una clase específica de utilización.

Disponibilidad de nutrientes o Fertilidad química

- | |
|--------------------------------------|
| ■ Textura |
| ■ pH |
| ■ Capacidad de intercambio catiónico |
| ■ Contenido y tipo de arcilla |
| ■ % MO. |



Maíz



Naranja



Banano

Requerimientos de nutrientes diferentes

Ejemplos

	kg t⁻¹					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Maíz	22	4	19	3	3	4
Naranja	5.7	0.7	5.3	-	0.7	0.8
Banana	8.4	1.1	8.3	4	1.5	0.7

'humedad disponible'

Como cualidad del suelo



atributos del suelo.

- Capacidad de almacenamiento de agua disponible,
- Contenidos de humedad a Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente,
- Textura,
- % Materia Orgánica (% MO),

Como cualidad de la tierra



atributos de la tierra.

Atributos del suelo +

- cantidad de lluvia que cae durante el período vegetativo del cultivo,
- distribución anual de la precipitación,
- limitaciones para la penetración de agua en el suelo,
- riesgo de escorrentía superficial,
- requerimiento hídrico del cultivo, etc.



Muchas Gracias

