

# Procesos Formadores de Suelo



MINISTERIO  
DE AGRICULTURA  
Y GANADERÍA



PROGRAMA  
RESILIENCIA  
CLIMÁTICA  
BOSQUES CAFETALEROS



**BID**

Banco Interamericano  
de Desarrollo



Prof. Dr. Deyanira Lobo Luján


[lobolujan66@gmail.com](mailto:lobolujan66@gmail.com)

Complejo o secuencia de sucesos que incluyen desde reacciones complicadas hasta redistribuciones simples de materia, que afectan íntimamente al suelo en el que se producen.



Estos procesos actúan promoviendo o retardando la formación de horizontes.

Los distintos procesos actuando al mismo tiempo sobre el mismo perfil pueden estar en conflicto



**Son todas las acciones que se producen en el suelo como un todo o en alguno de sus componentes. Por intercambios de materia y energía entre sus propios compuestos y con su medio ambiente. Con el tiempo genera cambios en la composición y/o las propiedades físicas, químicas, biológicas, mineralógicas y/o estructurales.**

# Etapas y Procesos en Génesis de Suelos

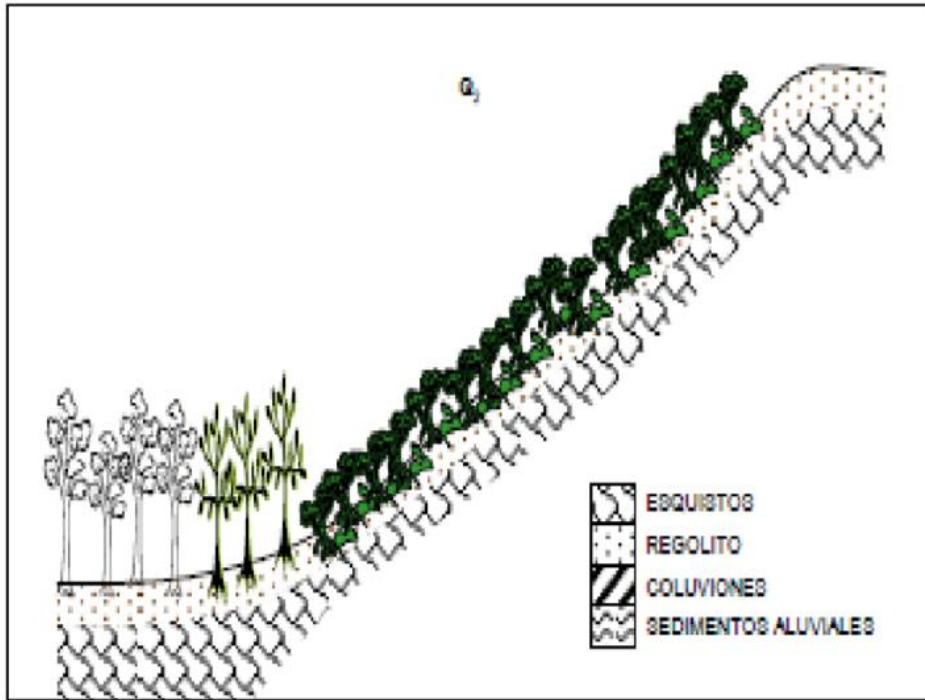
La génesis de un suelo comprende dos pasos:

- La formación de materiales parentales
- La diferenciación horizontes en el perfil



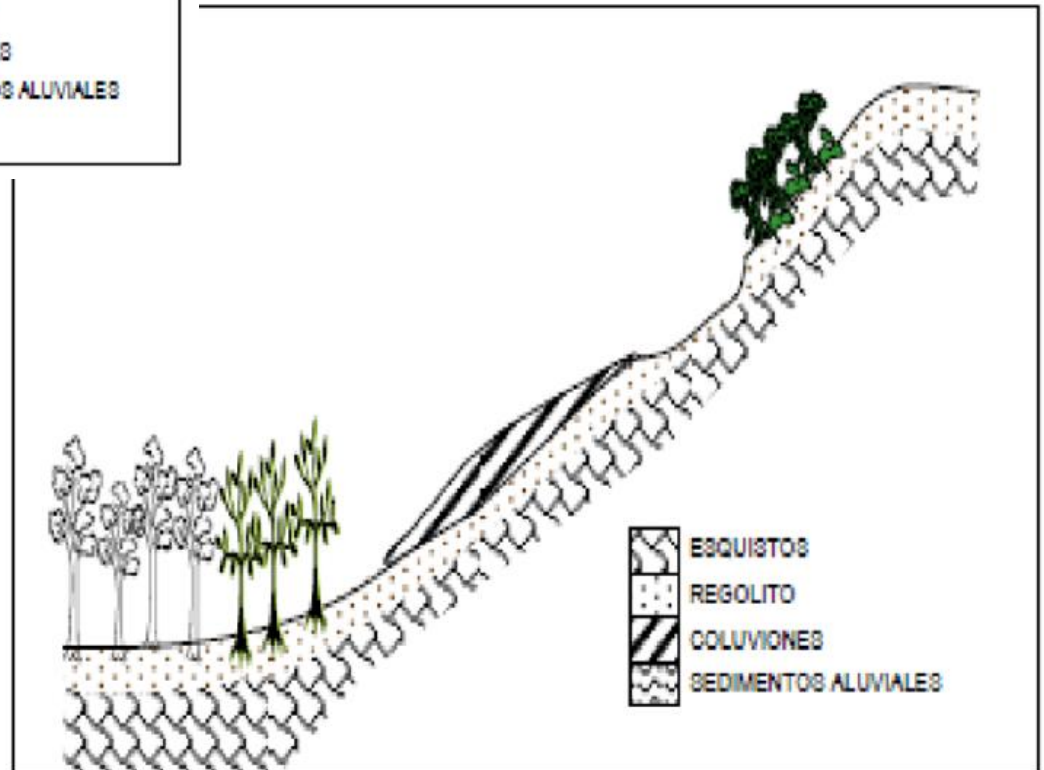
R. Simonson, 1959

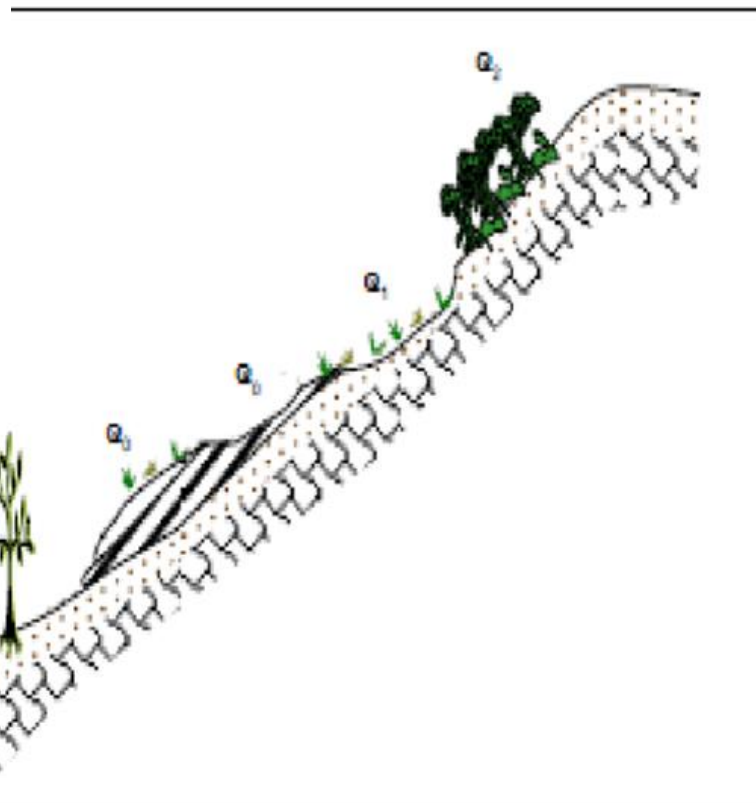
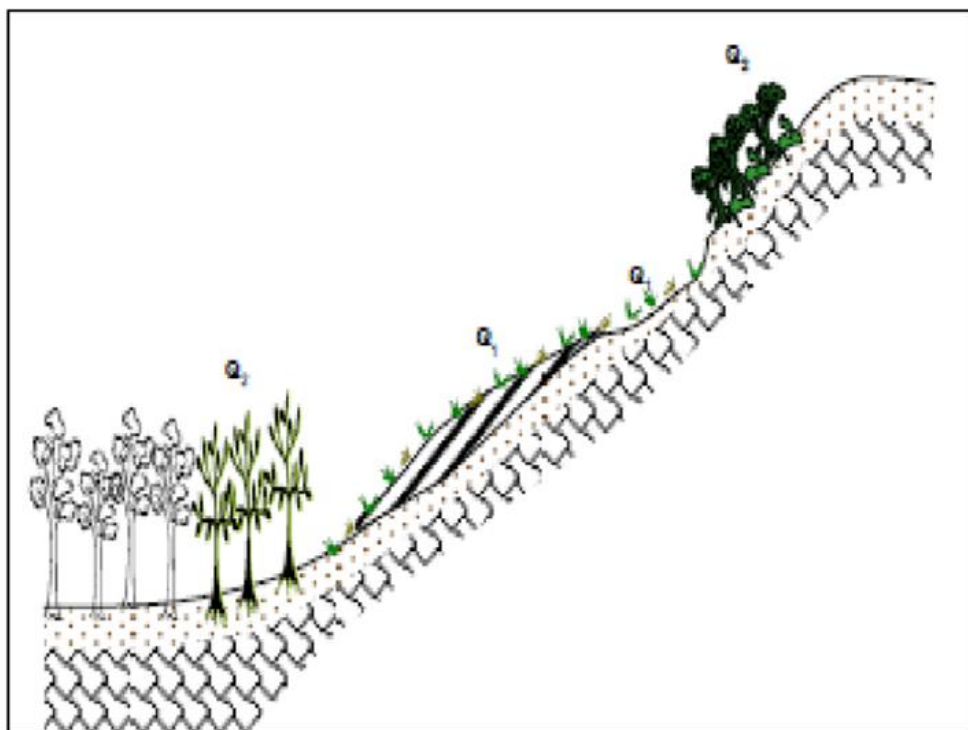


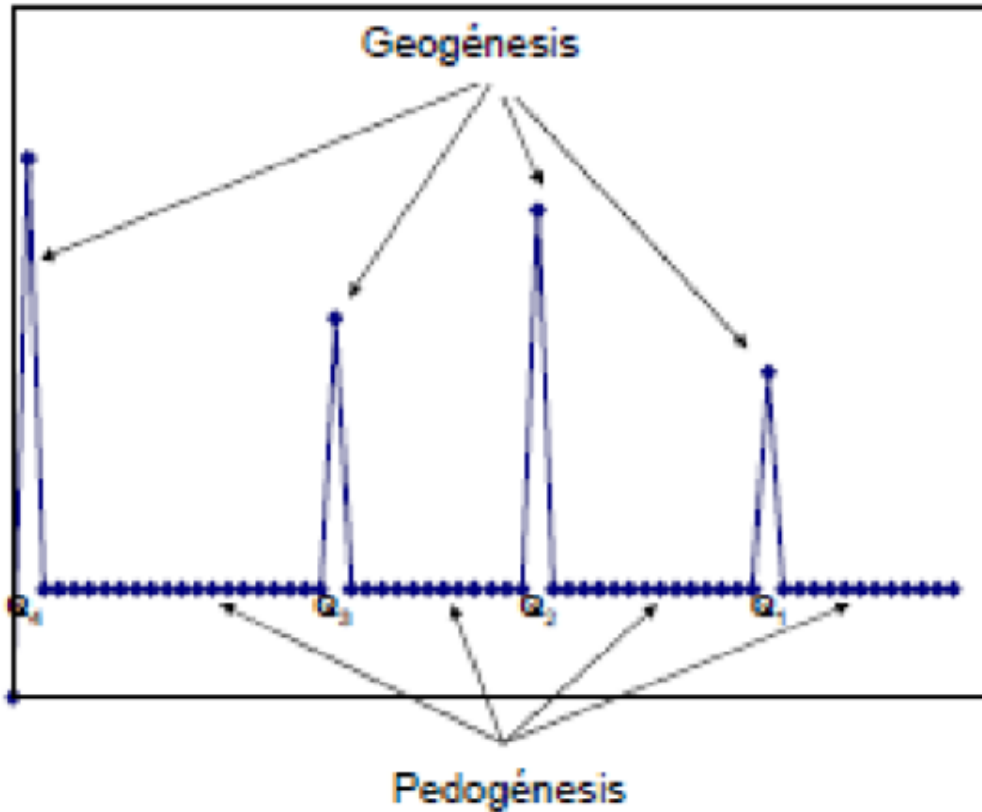


**Regolito:** capa de material alterado, no consolidado, existente sobre la roca inalterada. Su espesor depende de las condiciones de meteorización y, por lo tanto, de los factores climáticos.

**Coluvión:** masa no coherente de materiales sueltos y heterogéneos de suelo o fragmentos de roca, depositados por efecto de la lluvia, reptación o deslizamiento, los cuales se depositan en la base de las laderas.





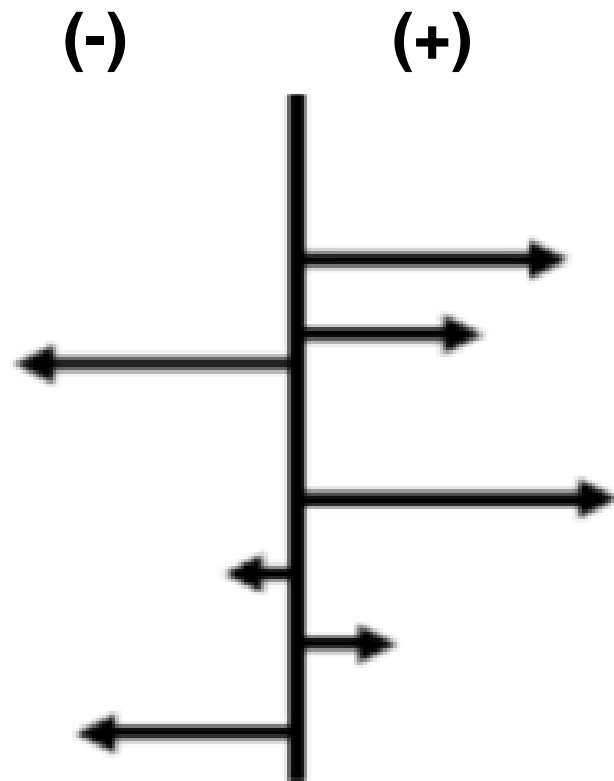


**Pedogénesis**,  
edafogénesis o evolución  
de suelo (formación):  
Procesos que participan  
en la formación del suelo.

**Geogénesis**,  
provee los materiales  
parentales





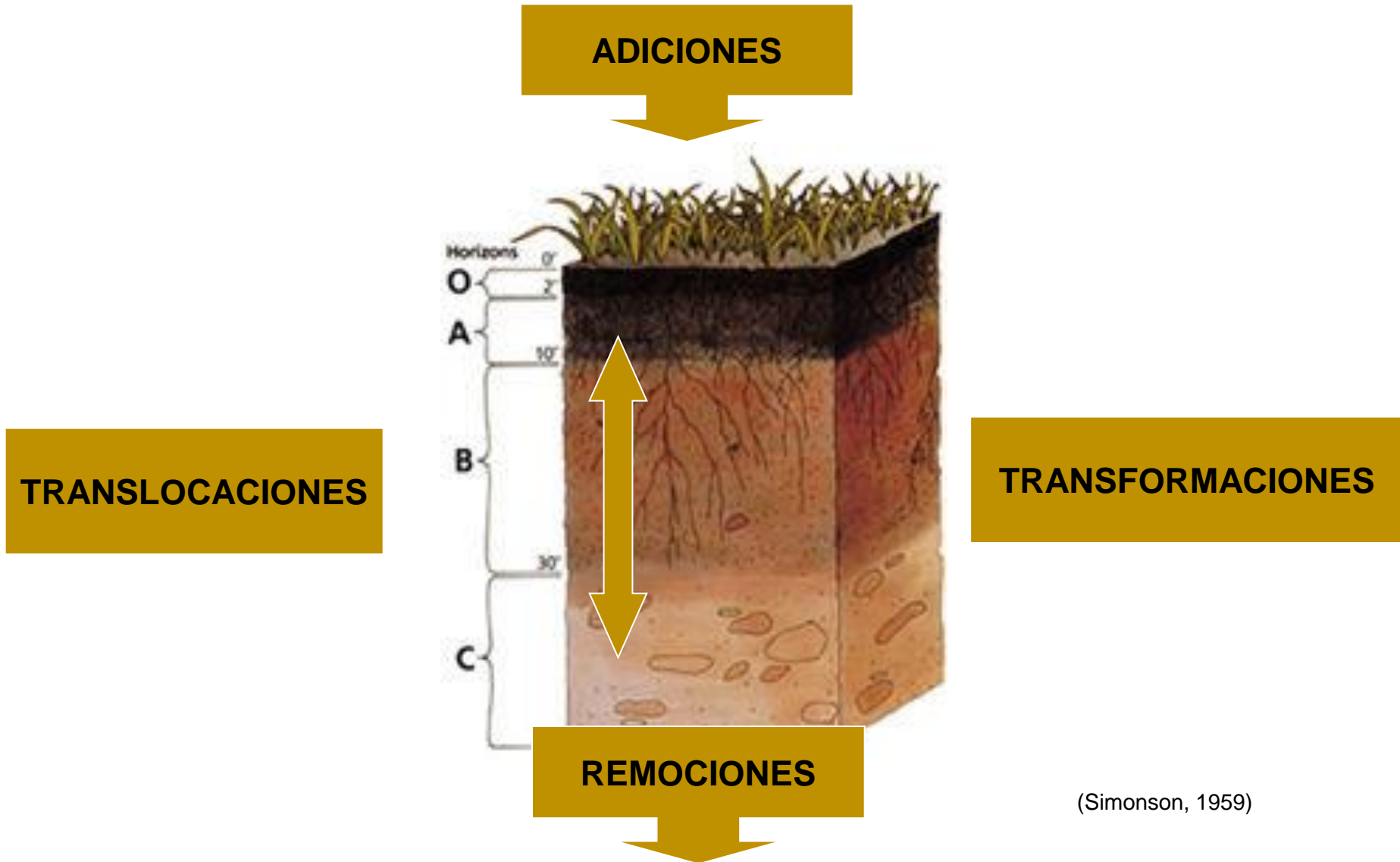


**Unos procesos  
tienden a formar  
horizontes (+).  
Otros tienden a  
borrarlos (-)**

La longitud de cada flecha  
indica la importancia de un  
proceso individual.

El balance entre los  
distintos procesos es  
sugerido por las  
longitudes relativas

# Procesos Formadores de suelo



(Simonson, 1959)

# Clasificación de los Procesos Formadores de Suelo

- **Procesos específicos:** conducen siempre a la formación de un tipo concreto de suelo o bien confieren a distintos tipos de suelos una característica común a todos ellos. Son los que potencialmente pueden contribuir al desarrollo del suelo.
- **Procesos compuestos:** resultan de la activación, simultánea o en cadena de varios procesos específicos. Son los responsables de la formación de horizontes determinados, por la acción predominante de uno de ellos.

*también se pueden agrupar atendiendo a si crean o destruyen horizontes*

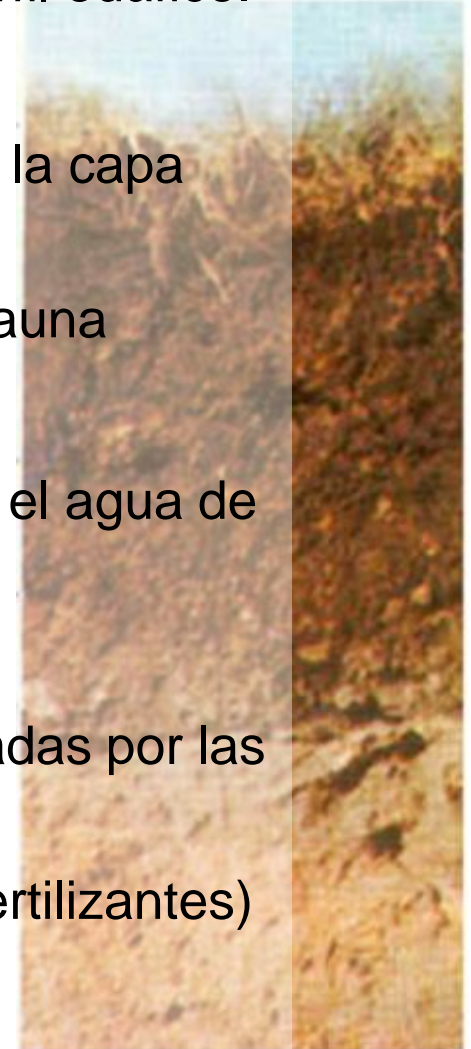
**Procesos proanisotrópicos o de haplodización:** destruyen los horizontes por mezcla vertical de los materiales del suelo. Impiden o desaceleran la diferenciación de horizontes e incluso los destruyen por mezcla vertical de los materiales del suelo.

**Procesos proisotrópicos o de horizonación:** son los responsables de la formación de horizontes edáficos. Tienden a diferenciar capas de disposición (horizontes) a partir del material parental

# Adiciones o Ganancias

Enriquecimiento de materiales y componentes del perfil edáfico.

- Energía del Sol
- Agua: escorrentía, lluvia o ascenso capilar desde la capa freática.
- Materia orgánica procedente de la vegetación y fauna
- Materiales transportados y sedimentados.
- Nitrógeno y azufre atmosférico transportados por el agua de lluvia.
- Sólidos transportados por el viento
- Cloruros formados a partir de las sales transportadas por las brisas marinas.
- Materiales depositados por el hombre (abono y fertilizantes)
- etc.



# Remociones o Pérdidas

## *Eliminación de materiales y componentes del perfil edáfico.*

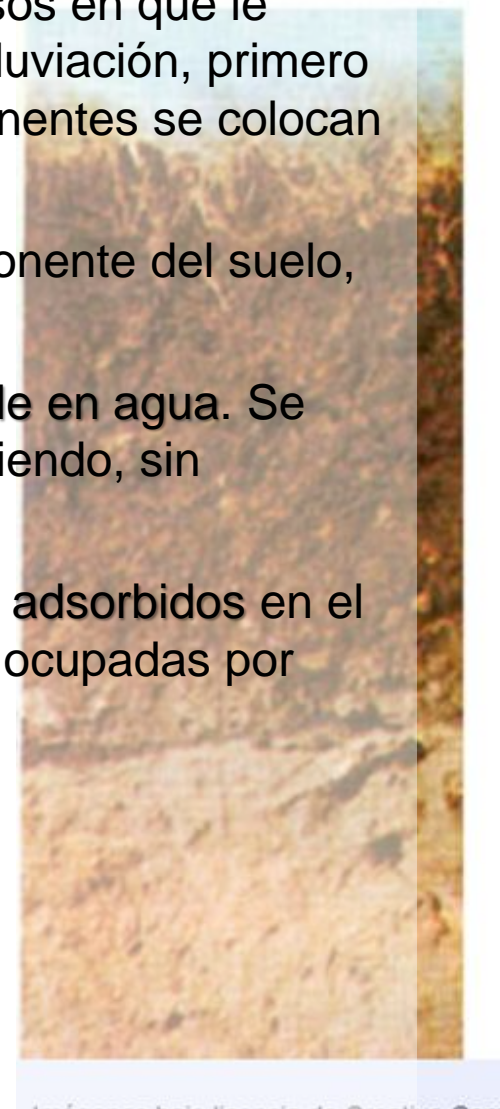
**Eluviación:** es la pérdida de componentes. Se usa en los casos en que le sucede un proceso de **iluviación**. (Eluviación va seguido de iluviación, primero se produce la pérdida de componentes y luego dichos componentes se colocan en otra zona)

**Lixiviación:** migración más o menos continuada de un componente del suelo, por la acción de un agente químico.

**Lavado:** proceso de pérdida de componentes en forma soluble en agua. Se presenta con mayor o menor intensidad en todos los suelos siendo, sin embargo, de especial importancia en climas húmedos.

**Desbasificación:** arrastre desigual y eliminación de los iones adsorbidos en el complejo de cambio del suelo. Las posiciones de cambio son ocupadas por cationes ácidos. Se presenta en climas húmedos.

- Erosión superficial
- Evapotranspiración
- Pérdidas de gases y energía
- Deshidratación



# Translocaciones o Transporte

Movimiento de materiales sólidos o en solución dentro del perfil.

- Arcilla (Argiluviación)
- Humus
- Hierro y materia orgánica (Quelación)
- Sesquióxidos (Óxidos de Fe y Al)
- Calcio (Calcificación)
- Yeso (Gypsificación)
- Sales solubles (Salinización)
- Sílice.
- Formación de humus, meteorización y quelación (Podsolización)
- Sismoturbación
- Edafoturbación
- etc.



# Transformaciones

Conjunto de procesos que conllevan cambios de composición y forma de los compuestos orgánicos e inorgánicos que pueden afectar al material del suelo.

- Descomposición, degradación, mineralización de materia orgánica
- Alteración física de materia mineral
- Meteorización química del material mineral
- Desarrollo de estructuras (formación de agregados a partir de partículas sueltas)
- Cementación: carbonato, yeso, sílice, hierro.
- Desarrollo de rasgos redoximórficos: gleificación





# Meteorización

*La meteorización es un proceso bioquímico que implica tanto la destrucción como la síntesis.*

- Las rocas y los minerales originales son destruidos tanto por desintegración física como por descomposición química. Sin afectar apreciablemente su composición, la desintegración física descompone la roca en rocas más pequeñas y eventualmente en partículas de arena y limo que comúnmente están compuestas de minerales individuales.
- Simultáneamente, los minerales se descomponen químicamente, liberando materiales solubles y sintetizando nuevos minerales, algunos de los cuales son productos finales resistentes. Los nuevos minerales se forman ya sea por alteraciones químicas menores o por la descomposición química completa del mineral original y la resíntesis de nuevos minerales.
- Durante los cambios químicos, el tamaño de las partículas continúa disminuyendo y los constituyentes continúan disolviéndose en la solución acuosa de meteorización.
- Las sustancias disueltas pueden recombinarse en nuevos minerales (secundarios), pueden dejar el perfil en el agua de drenaje o pueden ser absorbidas por las raíces de las plantas.

## Meteorización física

<b>DESCOMPRESIÓN</b>	ROCAS SOMETIDAS A PRESION SE ROMPEN CUANDO QUEDAN AL DESCUBIERTO <b>LAJAMIENTO</b>
<b>ACCIÓN DEL HIELO</b>	EN ZONAS DE ALTA MONTAÑA Y PERIGLACIARES, EL HIELO ACTUA COMO CUÑA <b>CRECIMIENTO DE CRISTALES DE HIELO</b>
<b>CRECIMIENTO DE CRISTALES DE SAL</b>	EL AGUA ASCIENDE POR CAPILARIDAD Y DEPOSITA LAS SALES QUE ARRASTRA <b>CRECIMIENTO DE CRISTALES SALINOS</b>
<b>CAMBIOS DE TEMPERATURA</b>	REPETICIÓN DE LOS CICLOS DE DILATACIÓN-CONTRACCIÓN <b>TERMOCLÁSTIA</b>
<b>ACCIÓN DE ORGANISMOS</b>	ACCIÓN DE LAS RAICES DE LAS PLANTAS <b>ACUÑAMIENTOS Y ROTURAS</b>
<b>CAMBIOS DE HUMEDAD</b>	PROVOCA LA EXPANSIÓN DEL TERRENO <b>HIDRATACIÓN FÍSICA</b>

## Gelivación o Gelifracción

Proceso de helada-deshelada; el frío contrae la roca, mientras que el hielo al aumentar de volumen, ensancha las fisuras fragmentando la roca.





# Termoclastismo

Los cambios bruscos de temperatura entre el día y la noche producen dilataciones y contracciones de las rocas, llegando a fracturarlas, formando arena.



## Descompresión

### Descompresión

Cuando las rocas que se han formado en el interior de la tierra afloran a la superficie, sufren disminución de presión y temperatura que origina su rotura.







**Fractura por Descompresión  
del Granito**



**Meteorización por  
acumulacion de critales de sal**



# Meteorización por acción del hielo

El agua se acumula en  
las grietas de las rocas

Al congelarse el agua  
aumenta su volumen

Rocas fracturadas



Canchales

## Meteorización Química

- La meteorización química es potenciada por agentes geológicos como la presencia de agua y oxígeno, así como por agentes biológicos como los ácidos producidos por el metabolismo microbiano y de las raíces de las plantas.
- Es por eso que el término meteorización biogeoquímica se usa a menudo para describir el proceso.
- Los diversos agentes actúan en concierto para convertir los minerales primarios (p. ej., feldspatos y micas) en minerales secundarios (p. ej., arcillas y carbonatos) y liberan los elementos nutrientes de las plantas en formas solubles.
- Es importante la presencia del agua en cada uno de los tipos básicos de reacciones de meteorización química

Se produce cuando los minerales que forman la roca reaccionan con los gases de la atmósfera y forman otros nuevos. Se favorece esta meteorización cuando la humedad atmosférica y la temperatura son elevadas. Es típica por tanto en climas cálidos y húmedos (intertropicales). Si previamente ha habido meteorización física, la química gana en intensidad, al presentar la roca fracturada una mayor superficie meteorizable.

<b>OXIDACIÓN</b>	COMBINACIÓN DE OXIGENO CON OTROS ELEMENTOS HACIENDO VULNERABLE EL TERRENO <b>OXIDACIÓN-REDUCCIÓN</b>
<b>CARBONATACIÓN</b>	ACCIÓN DEL DIÓXIDO DE CARBONO DISUELTO EN AGUA QUE ES CAPAZ DE DISOLVER LOS CARBONATOS. <b>CARBONATACIÓN</b>
<b>DISOLUCIÓN</b>	ACTUA SOLO SOBRE LOS MATERIALES SOLUBLES EN AGUA <b>DISOLUCIÓN</b>
<b>HIDRÓLISIS</b>	EL AGUA DISOCIADA ACTUA SOBRE LOS MATERIALES PRODUCIENDO COMPUESTOS Y LIBERANDO COMPONENTES QUE PUEDEN SER ARRASTRADOS <b>HIDRÓLISIS</b>
<b>HIDRATACIÓN</b>	MOLÉCULAS DE AGUA SE INTRODUCEN EN LOS MINERALES PROVOCANDO VARIACIONES DE VOLUMEN Y SOLUBILIDAD <b>HIDRATACIÓN QUÍMICA</b>

## Disolución

El agua disuelve los minerales solubles y los transporta en horizontal o vertical. Si es en horizontal provoca lavado de sales.

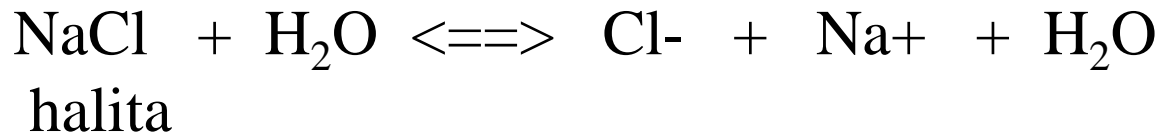
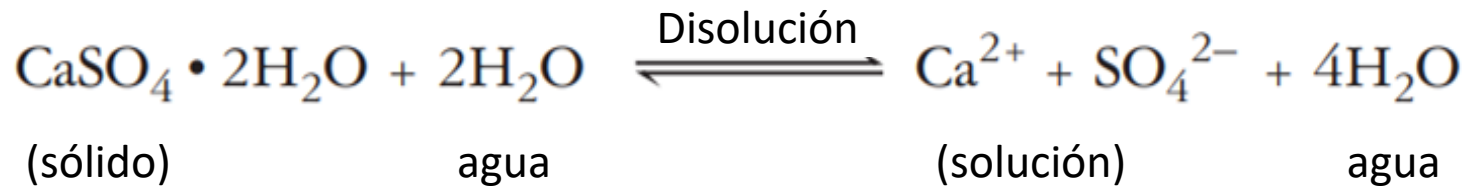
Si es en vertical, se transportan hacia el fondo, o hacia la superficie que por evaporación precipitan dando en la superficie costras de sal, de cal o caliche.



## Disolución

El agua es capaz de disolver muchos minerales al hidratar los cationes y aniones hasta que se disocian entre sí y quedan rodeados de moléculas de agua.

Ejemplo: El yeso que se disuelve en agua



## Carbonatación

Es la reacción de los minerales de las rocas con el ácido carbónico . Este se produce al reaccionar el agua con el dióxido de carbono atmosférico :  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$

La carbonatación ocurre en algunos silicatos en lugares húmedos

En ocasiones puede dar lugar a la disolución de las rocas calizas. El agua de la lluvia cargada de  $\text{CO}_2$  reacciona con los minerales que forman la roca caliza. La calcita, principal mineral de la caliza, es poco soluble en agua, pero con el agua cargada de  $\text{CO}_2$  , se disuelve. La reacción se produce mejor cuando la temperatura del agua es baja y la presión es alta. Esta reacción es responsable del proceso Kárstico.

El ácido carbónico disuelve la calcita y forma bicarbonato cálcico soluble:



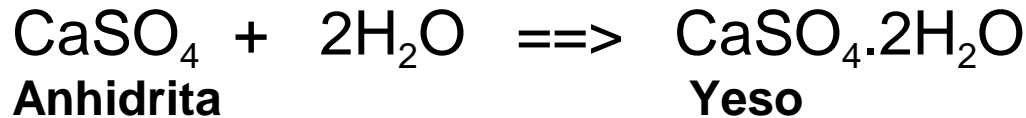
## Hidratación.

Las moléculas de agua intactas pueden unirse a un mineral mediante un proceso llamado hidratación.



**Hematita + Agua**

**Ferrihidrita**



**Anhidrita**

**Yeso**

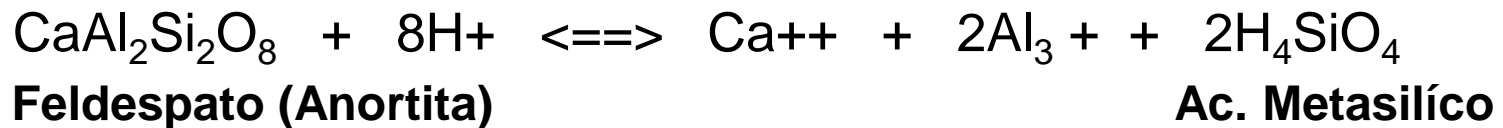
Los óxidos hidratados de hierro y aluminio (p. ej.,  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) son ejemplos de productos comunes de reacciones de hidratación.

## Hidrólisis

Reacción química de los H<sup>+</sup> y OH<sup>-</sup> del agua que se intercambian con los cationes y aniones de los minerales llegando en los casos extremos a destruir por completo a los minerales.

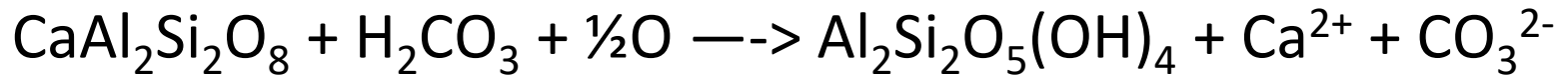


**Feldespato Albita**





## Hidrólisis



**plagioclasa** + ácido carbónico  $\longrightarrow$  **caolinita** + calcio disuelto + iones carbonato

Superficies no meteorizadas (izquierda) y meteorizadas (derecha) de la misma pieza de roca granítica. En las superficies no meteorizadas, los feldespatos todavía están frescos y de aspecto vidrioso. En la superficie desgastada, el feldespato ha sido alterado a caolinita, un mineral arcilloso de apariencia calcárea.

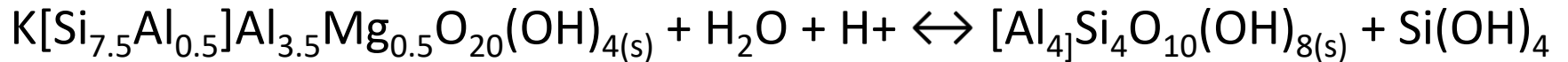


# Hidrólisis

La disolución de la caolinita en el suelo para producir gibsita y sílice soluble



paso de montmorillonita a caolinita





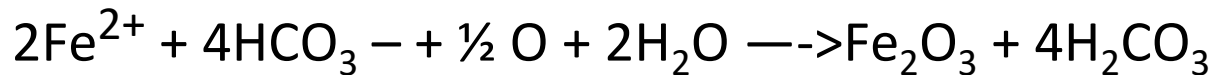
# Oxidación

La oxidación del hierro en un silicato ferromagnesiano comienza con la disolución del hierro. Ejemplo: el olivino en presencia de ácido carbónico se convierte en hierro disuelto, carbonato y ácido silícico.



**olivino** + (ácido carbónico) → hierro disuelto + carbonato disuelto + ácido silícico disuelto

En presencia de oxígeno, el hierro disuelto se convierte rápidamente en hematita



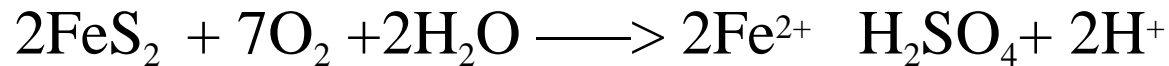
Fe disuelto + bicarbonato + oxígeno + agua → hematita + ácido carbónico

Una **roca granítica** que contiene biotita y anfíbol que se han alterado cerca de la superficie de la roca a **limonita**, que es una mezcla de minerales de óxido de hierro.



# Oxidación

Un tipo especial de oxidación tiene lugar en áreas donde las rocas tienen niveles elevados de minerales sulfurados, especialmente **pirita (FeS<sub>2</sub>)**. La pirita reacciona con el agua y el oxígeno para formar ácido sulfúrico,



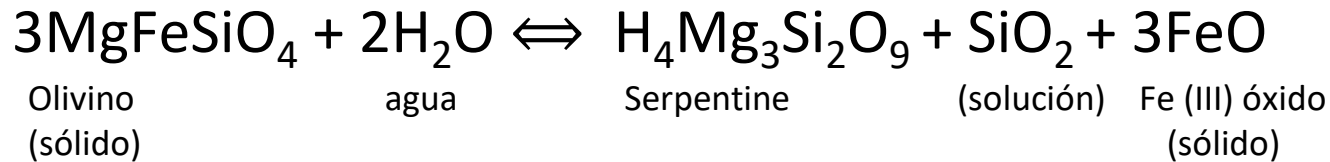
pirita + oxígeno + agua  $\longrightarrow$  iones de hierro + ácido sulfúrico + iones de hidrógeno



# Oxido - Reducción

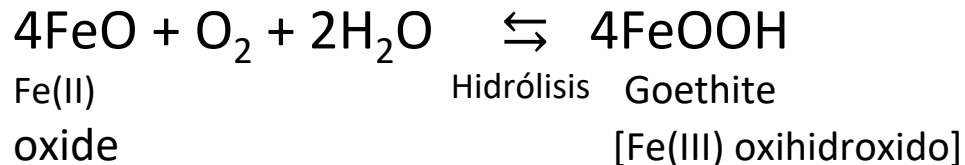
Los minerales que contienen **Fe, Mn o S** son especialmente susceptibles a las reacciones de oxidación-reducción. El hierro generalmente se deposita en minerales primarios en la forma divalente de Fe (II) (ferroso). Cuando las rocas que contienen tales minerales se exponen al aire y al agua durante la formación del suelo, el hierro se oxida fácilmente (pierde un electrón) y se convierte en Fe trivalente (III) (férrico). Si el hierro se oxida de Fe(II) a Fe(III), el cambio de valencia y radio iónico provoca ajustes desestabilizadores en la estructura cristalina del mineral.

Hidrólisis



En otros casos, el Fe(II) puede liberarse del mineral y oxidarse casi simultáneamente a Fe(III). Por ejemplo, la hidratación del olivino libera óxido ferroso, que puede oxidarse inmediatamente a oxihidróxido férrico (goethita)

Oxidación



# METEORIZACIÓN BIOLÓGICA



## **Quelación**

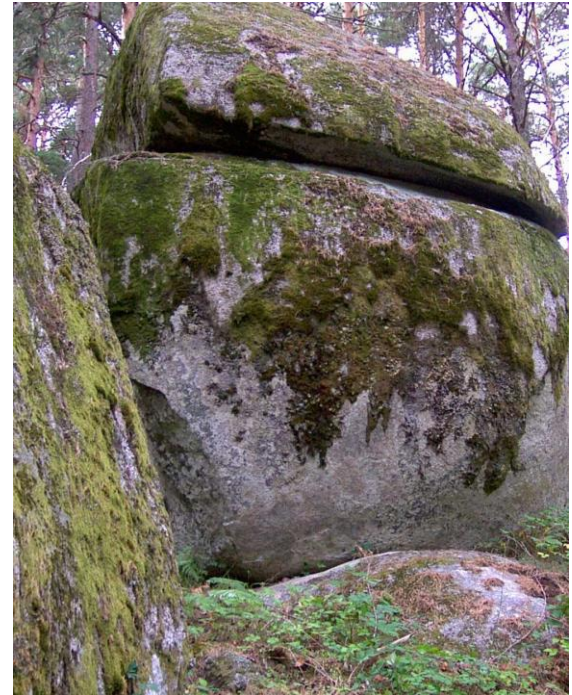
La materia orgánica depositada en el suelo procedente de las plantas reacciona químicamente con iones metálicos de los minerales existentes, formando estructuras en las que los iones quedan atrapados entre la materia orgánica. Dando lugar al humus del suelo y modificando los minerales del suelo.

## **Acuñamiento, roturas.**

Se fragmentan las rocas por la acción de raíces en crecimiento y por la actuación de organismos que construyen canales y galerías. Contribuyen a la meteorización física sin que se formen estructuras típicas

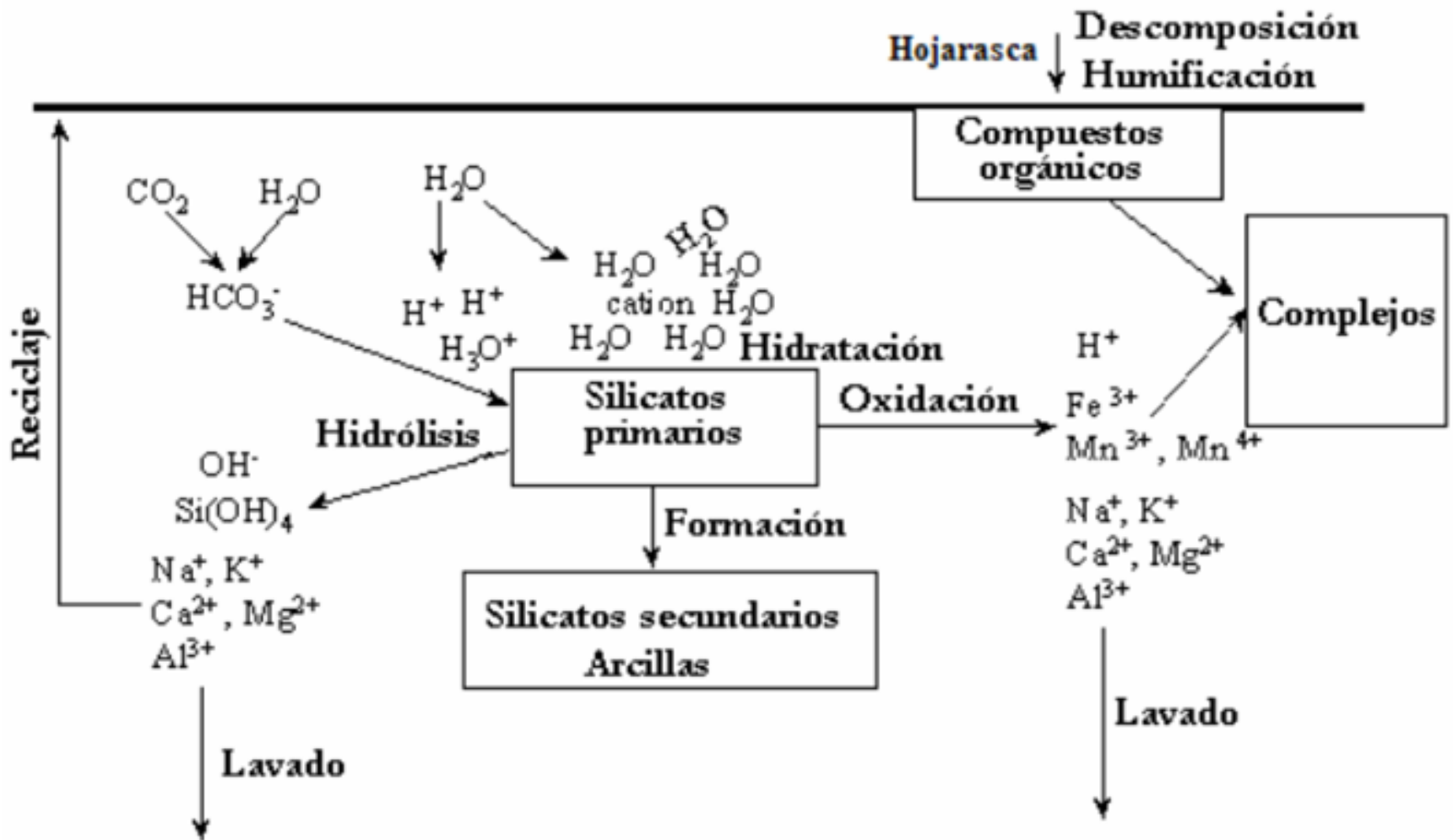
## Meteorización biológica

- Es realizada por los seres vivos y puede producir tanto cambios físicos como químicos en las rocas.
- Ejemplos: Las raíces de los árboles se introducen en las grietas de las rocas y poco a poco consiguen romperlas.
- Los líquenes y musgos que crecen sobre las rocas van alterándolas poco a poco ya que producen ácidos y otras sustancias que reaccionan con ellas
- Muchos animales excavan galerías y túneles en el suelo favoreciendo la alteración de las rocas.









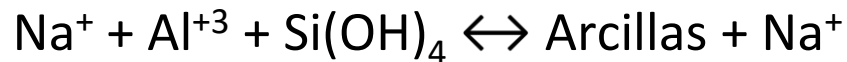
# Rutas de la meteorización en el suelo en función del pH y Eh

## Ruta ácida, Ruta alcalina, Ruta reductora

### Ruta ácida

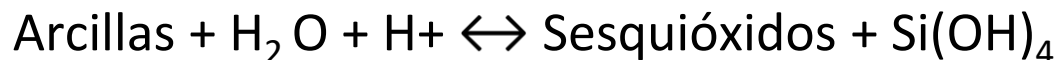
- Se da en regiones de climas húmedos, en materiales porosos que no impiden el flujo
- La reacción de hidrólisis y el tiempo de residencia del agua definen la composición de las fases acuosa y sólida de estos sistemas,
- Los materiales finales que se forman en la fase sólida son, predominantemente arcillas del tipo 1:1, óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio, asociada a una progresiva acidificación del suelo.
- Progresivo reemplazo de cationes alcalino y alcalino térreos por protones y cationes metálicos,  $Al^{+3}$ ,  $Fe^{+3}$ ,  $Mn^{+4}$

### Formación de Arcillas



Las arcillas formadas pueden ser de los tipos 1:1, 2:1, alófana. O si la lixiviación del silicio es muy intensa el  $Al^{+3}$  precipita como gibbsita

cuando los minerales meteorizables se hayan agotado, comenzarán a disolverse los minerales secundarios previamente formados



## Ruta alcalina

Ocurre en regiones áridas con un déficit neto de agua.

El movimiento del agua es hacia arriba de la zona de meteorización, aunque la distribución estacional de lluvias podría determinar que, en parte del año, exista suficiente agua para el lavado de iones.

El ascenso capilar y la evaporación predominarán moviendo agua con sus iones hacia arriba.

El resultado es que iones como  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  y  $\text{Cl}^-$  pueden alcanzar altas concentraciones.

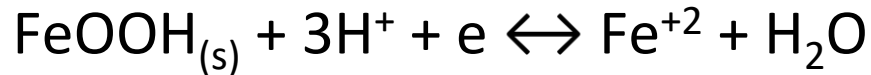
Estas soluciones pueden migrar en el perfil del suelo y precipitar formando diferentes tipos de horizontes

La característica fundamental de estos iones es que tienen hidrólisis alcalina confiriéndole pH alto al suelo donde estén presentes.

## Ruta reductora

La característica fundamental de esta ruta es la presencia continua de un exceso de agua, por lo que el frente de meteorización estará en presencia de una condición anaeróbica

En esta condición, elementos como el Fe, Mn, S y otros, se encuentren reducidos, las formas reducidas son más móviles y pueden salir de la zona de meteorización. En una reacción de reducción, además de que el elemento acepta electrones, se consumen protones



La fluctuación de la mesa de agua es una condición común en muchos suelos, creándose alternativamente una condición anaeróbica y aeróbica,

Durante los periodos húmedos los óxidos de hierro se reducen, proceso en el cual los electrones son aportados por la materia orgánica,

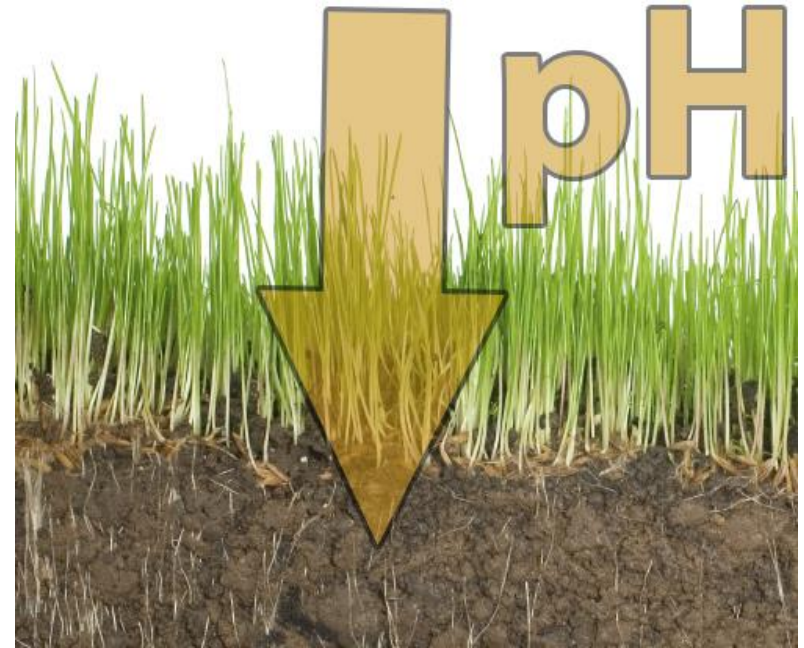
En la época seca el  $\text{Fe}^{+2}$  se oxida produciendo un exceso de protones que acidifican el medio. Proceso que se conoce como ferrólisis

## Acidificación

La acidificación del suelo es un proceso espontáneo que ocurre durante la pedogénesis.

Se da una continua meteorización química, la cual consiste en una pérdida de cationes alcalinos y alcalinotérreos ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ) e incremento concomitante de cationes metálicos ( $Al^{+3}$ ,  $Fe^{+3}$ ,  $Mn^{+4}$ ) que pueden sufrir hidrólisis ácida

Simultáneamente, se debe dar una salida de silicio, en forma de  $Si(OH)_4$



- ★ Ácido carbónico y otros ácidos orgánicos.
- ★ Acumulación de Materia Orgánica
- ★ Oxidación de Nitrógeno (Nitrificación)
- ★ Oxidación de Azufre.
- ★ Absorción de cationes por parte de la planta.
- ★ Hidrólisis del Al

