

# Procesos Iniciales: meteorización y formas resultantes

Ecología del paisaje 2025 - Clase: 12 de mayo

UNCIEP - IECA, Facultad de Ciencias

Presentación realizada por Patricia Gallardo

# **Procesos iniciales: contextualizando la dinámica de vertientes**

Vertiente: porción de territorio limitada por una divisoria de aguas en su parte superior y por un canal aluvial o llanura aluvial en su parte inferior.

A lo largo de una vertiente se pueden diferenciar sectores que son sometidos a procesos diferentes de desarrollo del suelo.

# Procesos iniciales

Aportan materiales para la formación y evolución de sedimentos y suelos, modeladores del paisaje



Cerro Catedral (Uruguay). Fotografía de Camp...

<https://daos1964.blogspot.com/2017/06/cathedral-hill-most-high-point-in.html>

# **Meteorización física + química + biológica**

Implica procesos mecánicos que fragmentan las rocas y actividad química que altera los minerales. La actividad biológica también ejerce su rol en la desagregación mecánica así como en la alteración química. El clima ejerce una influencia fundamental en estos procesos. Estos procesos, además de dar origen a diversos productos (fragmentos de roca, arenas, limos, minerales arcillosos, iones en solución) dan origen a los diversos tipos de suelos (o son el comienzo de su formación).

# Procesos iniciales

Son procesos que ocurren en la superficie de la corteza terrestre y que afectan el grado de consolidación y composición de rocas y minerales. Operan bajo la influencia de **agentes climáticos**, a los que luego se asocian **agentes biológicos**.

- **Meteorización física:** desgaste, fragmentación y/o destrucción de rocas y minerales por exposición a agentes físico/mecánicos diversos: *agua, hielo, aire, oscilación térmica* y otros.
- **Alteración química y bioquímica:** se trata de reacciones que en su fase activa incluyen, en su gran mayoría, al agua. Estos procesos producen cambios en los minerales preexistentes, los disuelven y producen iones que entran en solución.

# Meteorización Física

La **desintegración mecánica** del material ocurre por uno, o una combinación, de los siguientes factores:

- **Expansión provocada por la descompresión (ligada a la geodinámica interna del planeta)**
- **Expansión/contracción térmica (termoclastia)**
- **Fragmentación por hielo (crioclastia)**
- **Fragmentación por crecimiento de minerales (haloclastia)**
- **Acción biomecánica (bioclastia)**

Es ayudada por:

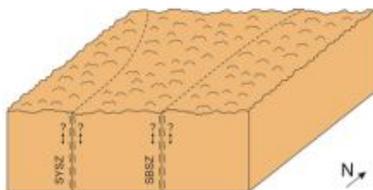
- **Presencia de *puntos o planos* de debilidad**
- **Resistencia diferencial de los materiales**

# Phanerozoic low-temperature evolution of the Uruguayan Shield along the South American passive margin

Mathias Hueck<sup>1\*</sup>, Sebastián Oriolo<sup>1</sup>, István Dunkl<sup>1</sup>, Klaus Wemmer<sup>1</sup>, Pedro Oyhantçabal<sup>2</sup>, Max Schanofski<sup>1</sup>, Miguel Ángel Stipp Basei<sup>3</sup> & Siegfried Siegesmund<sup>1</sup>

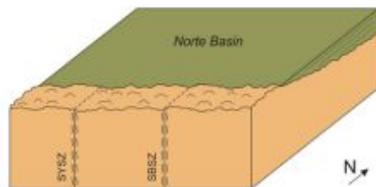
(a) Early Palaeozoic (550 - 450 Ma)

- General post-Brasiliano exhumation
- Activity along shear zones



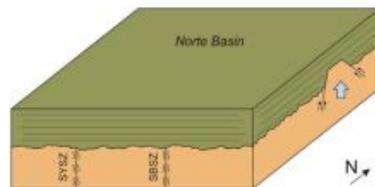
(b) Devonian (420 - 360 Ma)

- General subsidence
- Beginning of deposition in the Norte Basin



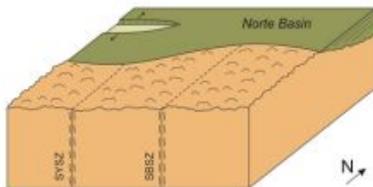
(c) Permian (300 - 250 Ma)

- General subsidence
- Deposition in the Norte Basin
- Localized exhumation



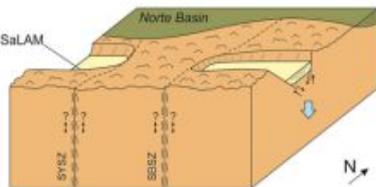
(d) Permo-Triassic (250 - 220 Ma)

- General exhumation of the Uruguayan Shield
- Regional extension on the Norte Basin with restricted sedimentation



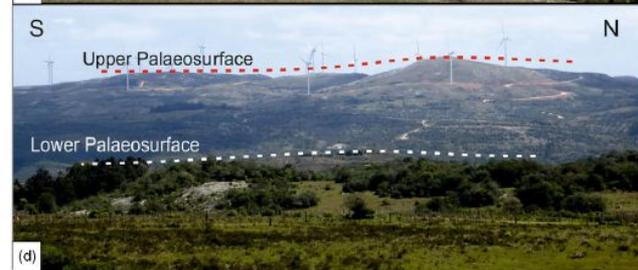
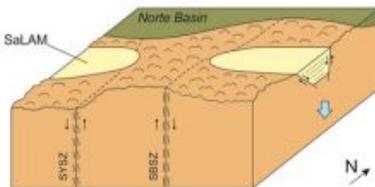
(e) Lower Cretaceous (~ 135 Ma)

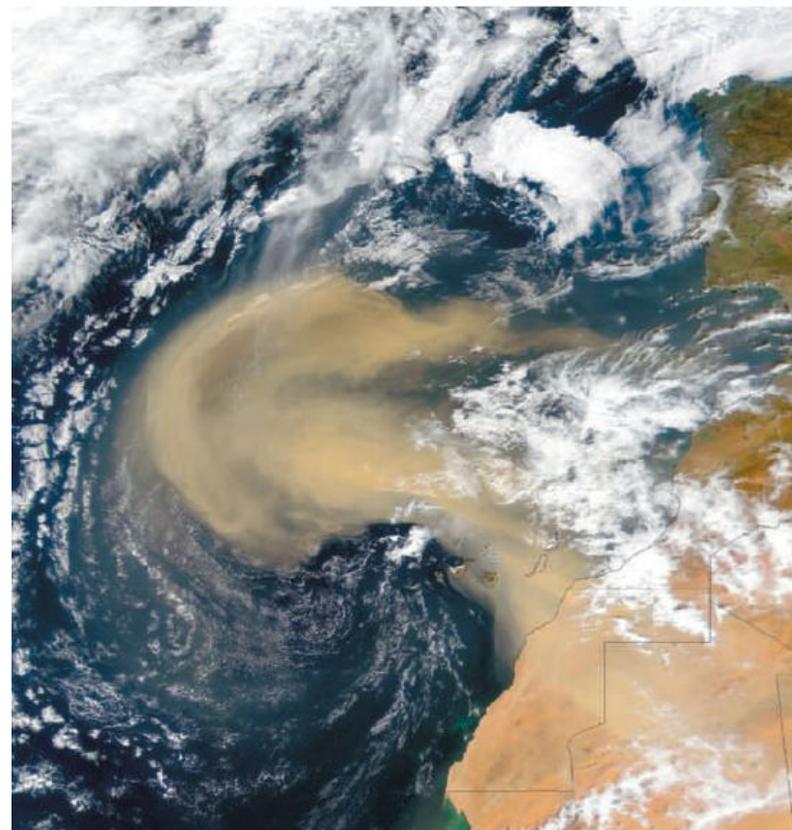
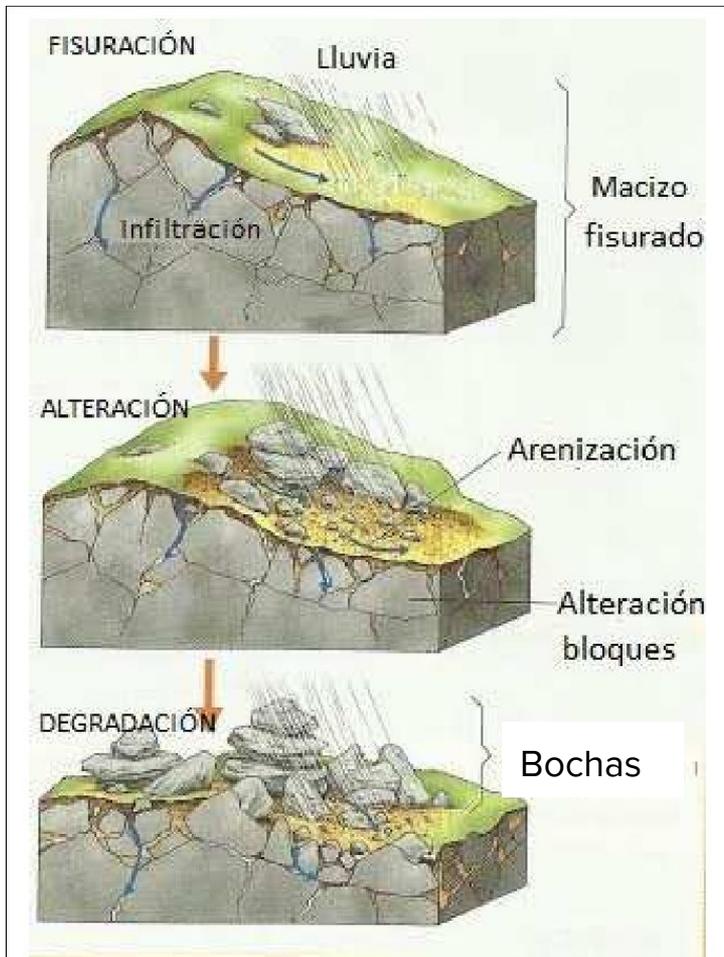
- Opening of the South Atlantic Rift
- Paraná Volcanism
- Rifting and subsidence along the SaLAM corridor
- Reactivation of shear zones and local exhumation

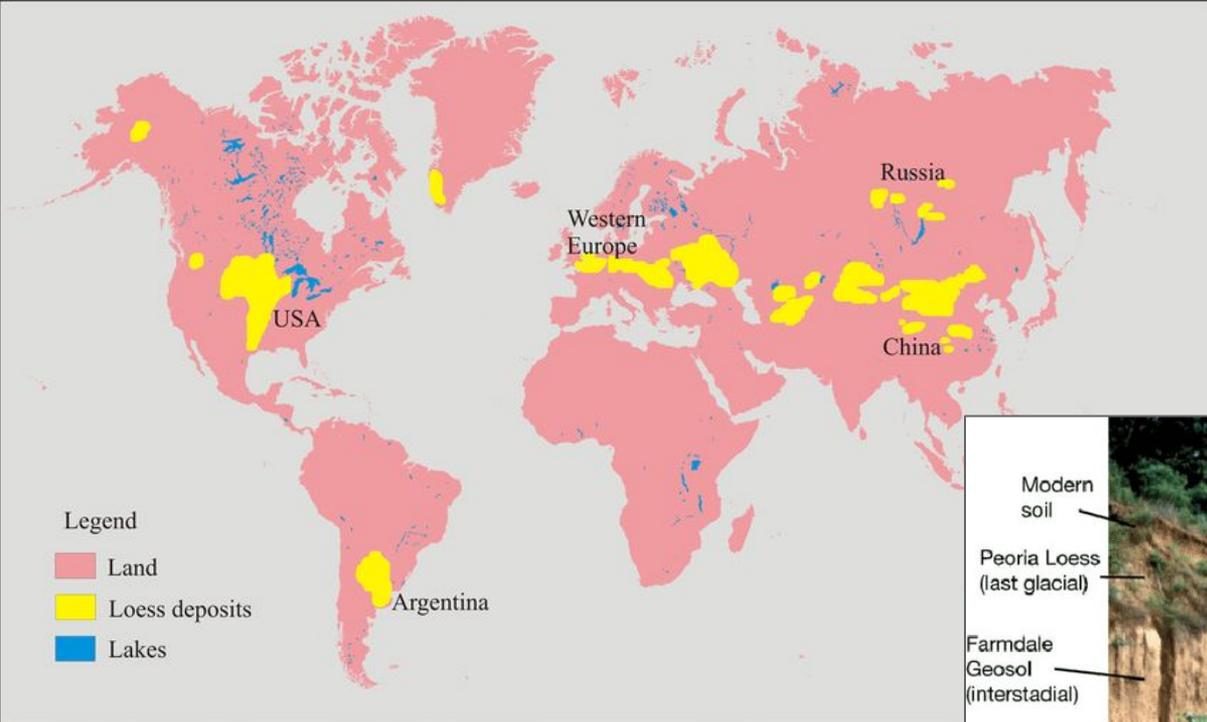


(f) Upper Cretaceous (100 - 85 Ma)

- Subsidence and deposition in SaLAM corridor
- Reactivation of shear zones
- Uplift in the south and probably in the NPT







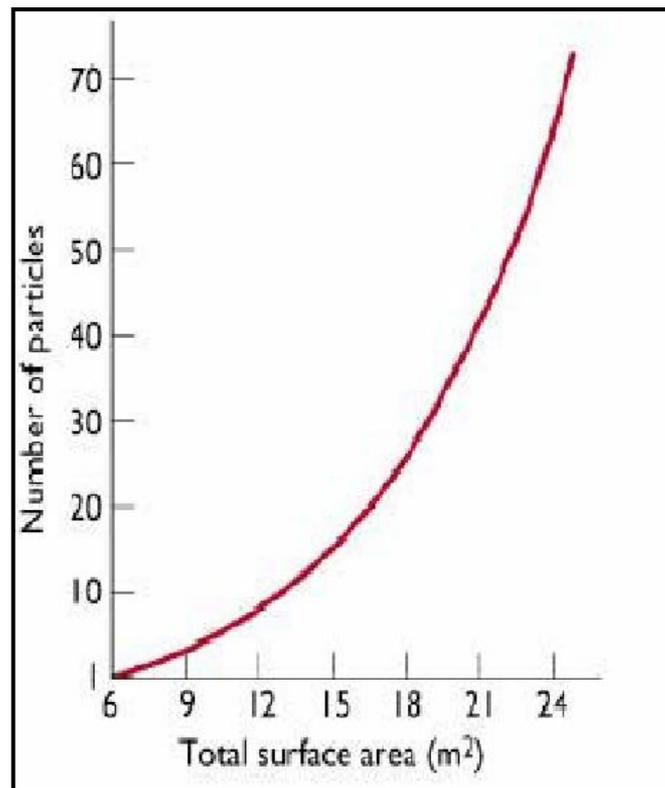
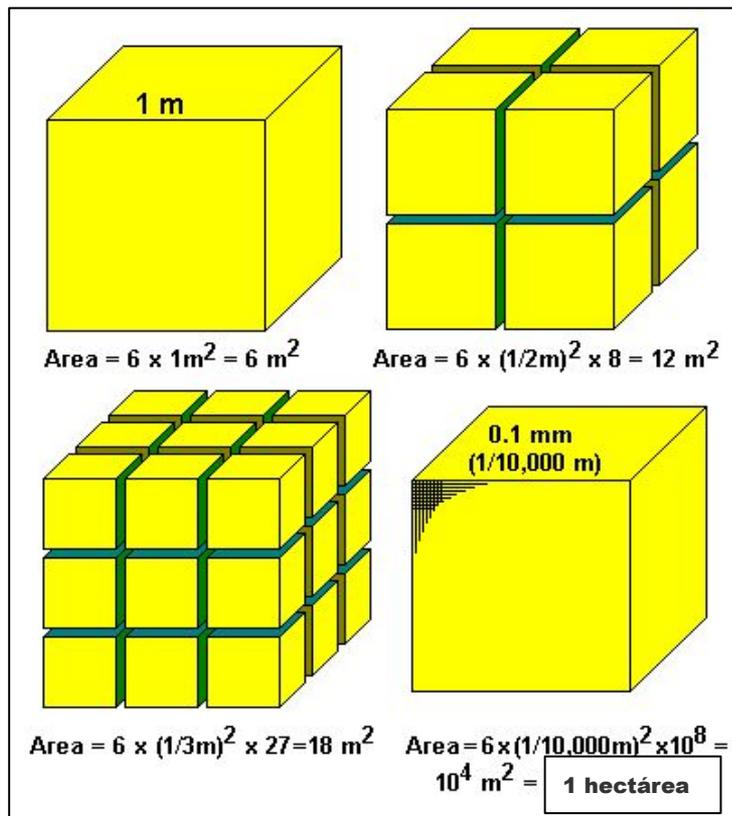
Distribución de depósitos de loess en el mundo. [Modified after Pye (1984) and Li and Qian (2018a)].

## Loess: otro producto de la crioclastia

Depósitos de loess y paleosuelos representando el último ciclo interglacial-glacial, expuestos en el Norte de Arkansas, USA (Markewich *et al.*, 1998). Fotografía de: DR Muhs.



# Resultados:



# Resultados:

---

Iniciada la meteorización, parte del material es arrastrado y reclasificado (material parental no residual). Otra parte, permanece *in situ* durante más tiempo (material residual o roca madre).

El material no residual, removido y depositado, es clasificado por su último medio de transporte, dado que es el que realiza la clasificación final (por tamaño).

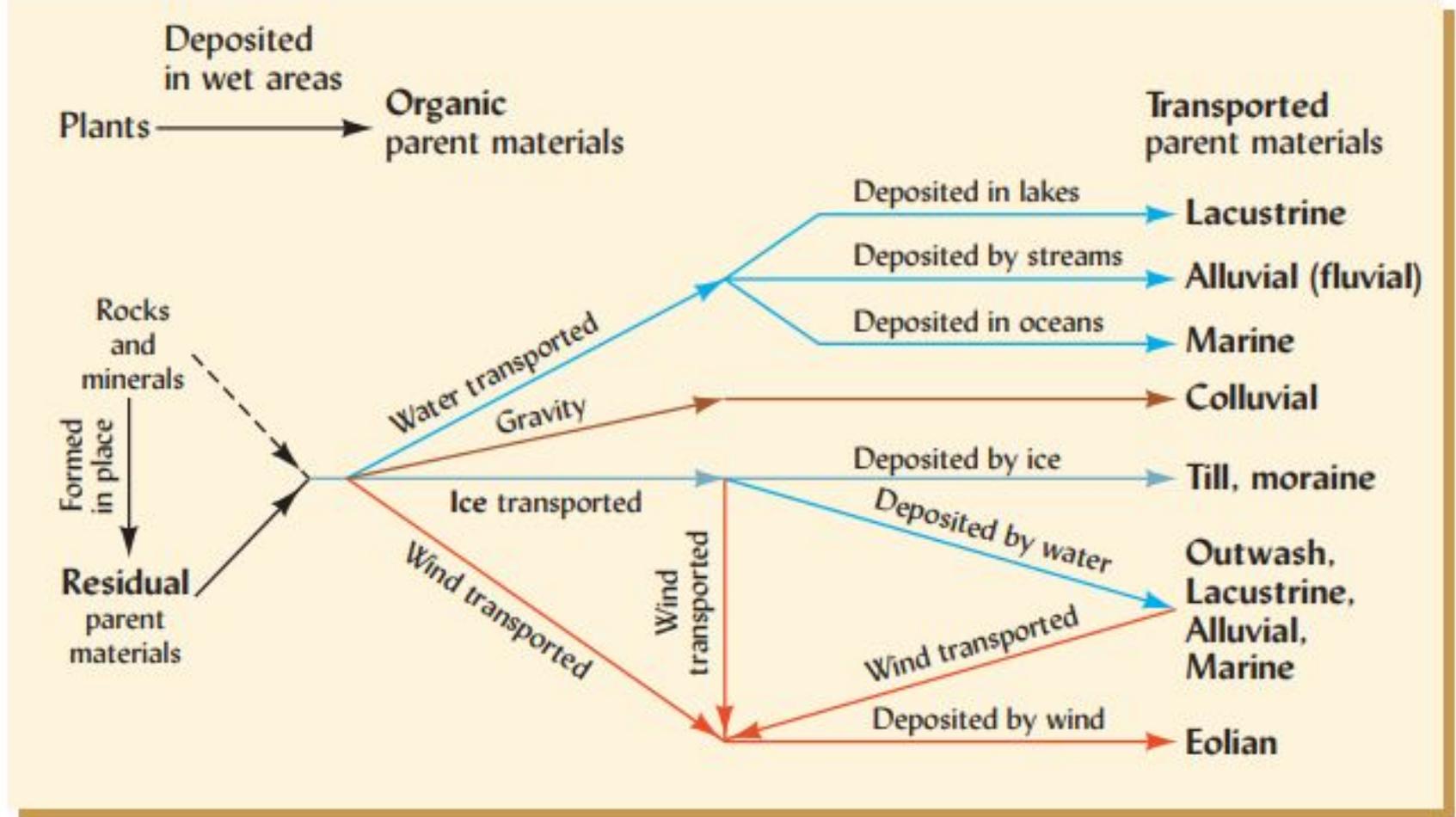


## Resultados:

---

- ✓ **material residual:** en este, el establecimiento de la pedogénesis es casi imposible. Su inicio es marcado por la colonización de bacterias, líquenes y musgos; luego por plantas pioneras aunque no podría evolucionar más que un suelo superficial (litosol).
- ✓ **material no residual o de deposición:** por tratarse de materiales sedimentarios, no es tan lenta la instalación directa de procesos de sucesión vegetal y la pedogénesis se da más rápido.





**Figura.** Cómo los distintos tipos de materiales parentales se generan y luego se transportan y depositan. (Diagrama tomado de Brady y Weil, 2016)

# Teoría de la biorexistasia (Erhart, 1951)

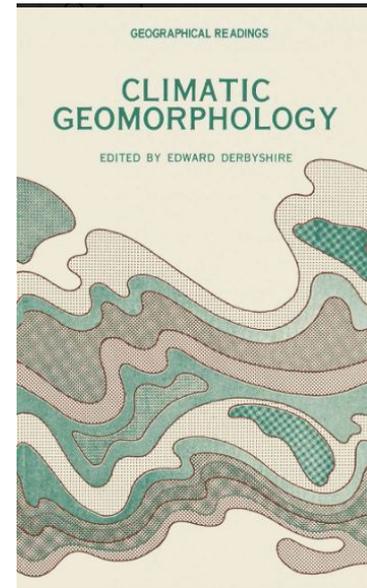
La teoría de la biorexistasia indica que cuando los procesos morfogenéticos son más activos que la pedogénesis, el paisaje se encuentra en **rexistasia**. Por el contrario, cuando los procesos pedogenéticos son más activos que los morfogenéticos, predomina la **biostasia**.

# Biostasia

Se caracteriza por la formación y estabilidad del suelo, con poca erosión. En este estado, los procesos **pedogenéticos** dominan, y los procesos morfogenéticos son menos activos. La vegetación juega un papel importante en la biostasia, ya que protege el suelo de la erosión.

# Rexistasia

Se caracteriza por una fuerte erosión y meteorización del suelo, con poca o ninguna formación de suelo. En este estado, los procesos **morfogenéticos** (cambios en la forma del paisaje) son más activos que los procesos pedogenéticos (formación del suelo). La destrucción de la vegetación puede llevar a la rexiestasia, ya que expone el suelo a la erosión.



# Alteración Química



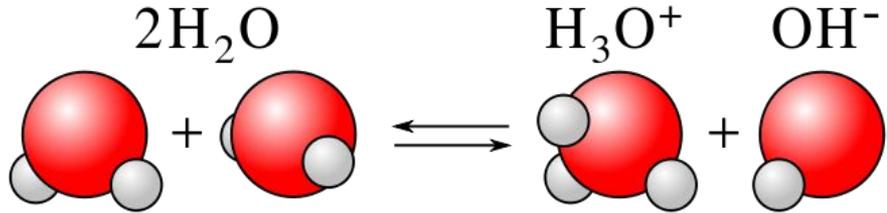
Involucra las reacciones:

- ★ **Disolución**
- ★ **Hidratación/Deshidratación**
- ★ **Hidrólisis**
- ★ **Oxidación/Reducción**

La alteración química se considera una primera etapa en la génesis de un suelo (particularmente, la hidrólisis y la oxidación). Este proceso de alteración generalmente es más activo en regiones de lluvias abundantes y temperaturas altas, como en zonas tropicales.

# Hidrólisis

Reacción química de los  $H^+$  y  $OH^-$  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.



La hidrólisis afecta principalmente a los cationes que unen a las estructuras silicatadas de los minerales.



También se requiere del aporte de especies ácidas; entre otras, las procedentes de la actividad biológica, para que el agua se cargue con más  $H^+$ .



# Hidrólisis: tipos y productos

**Hidrólisis parcial: La que genera minerales arcillosos**

**Bisialitización** - Generación de Arcillas 2:1; Illita, montmorillonita, vermiculita

**Monosialitización** - Generación de Arcillas 1:1; Caolinita

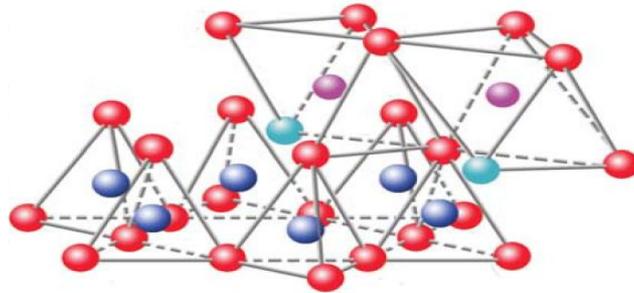
**Hidrólisis total: la que deja sin sílice al sistema**

**Alitización** - Generación Hidróxidos de Al: Gibbsita

# Minerales arcillosos más comunes

Minerales arcillosos 1:1

Ej: Grupo de las  
Caolinitas



7 Å



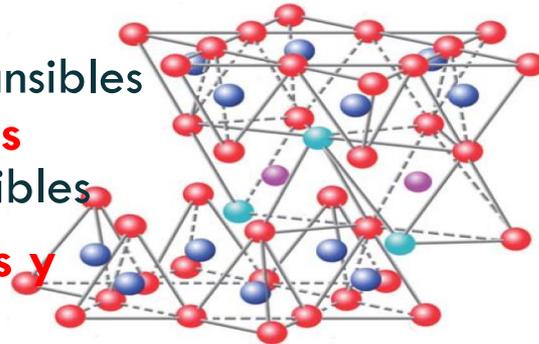
Minerales arcillosos 2:1

➤ Arcillas no expansibles

Ej: Illitas

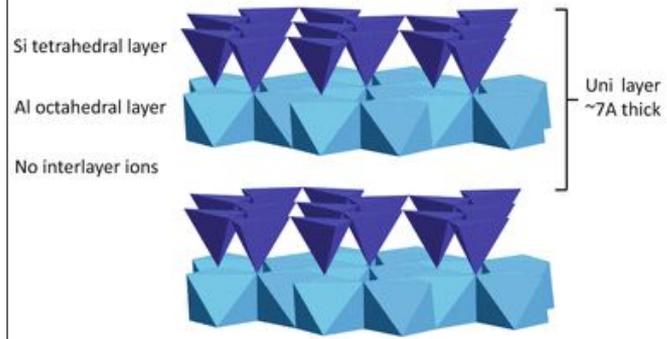
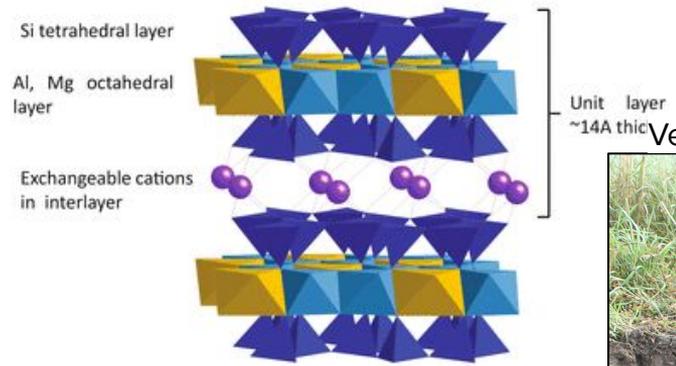
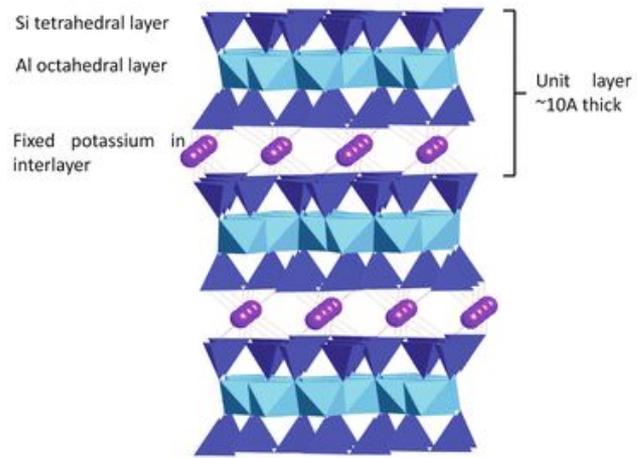
➤ Arcillas expansibles

Ej: Esmectitas y  
vermiculitas



9 Å



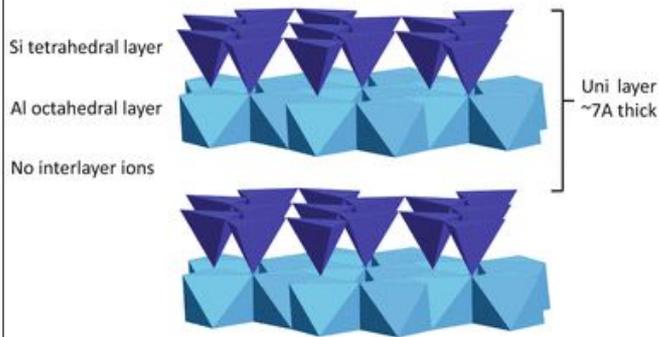
**a****Kaolin group** e.g. kaolinite  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ **b****Smectite** e.g. montmorillonite  $(Na,Ca)_{0.33}(Mg,Al)_2(Si_4O_{10})(OH)_2 \cdot nH_2O$ **c****Mica group** e.g. illite  $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ 

Vertisol en Mosendorf, België.  
BDSOL (ASTA & LIST)



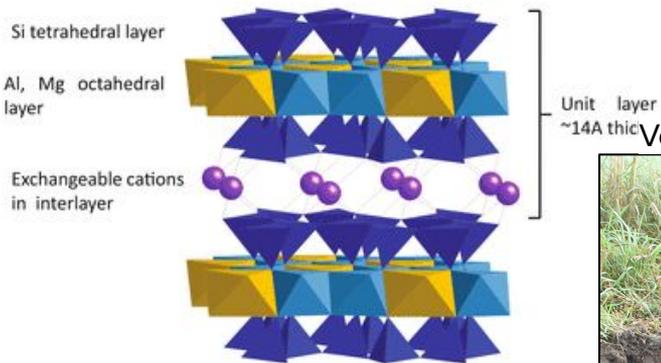
a

**Kaolin group** e.g. kaolinite  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$

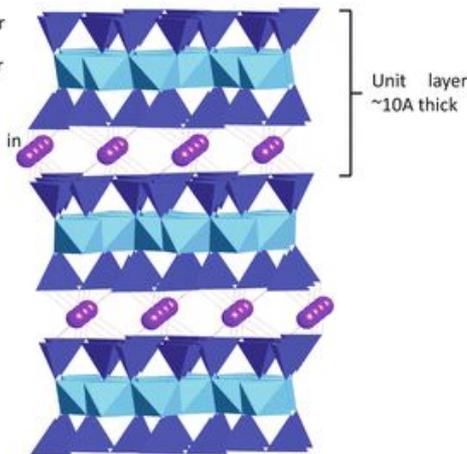


b

**Smectite** e.g. montmorillonite  $(Na,Ca)_{0.33}(Mg,Al)_2(Si_4O_{10})(OH)_2 \cdot nH_2O$



**Illite group** e.g. illite  $Al_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$



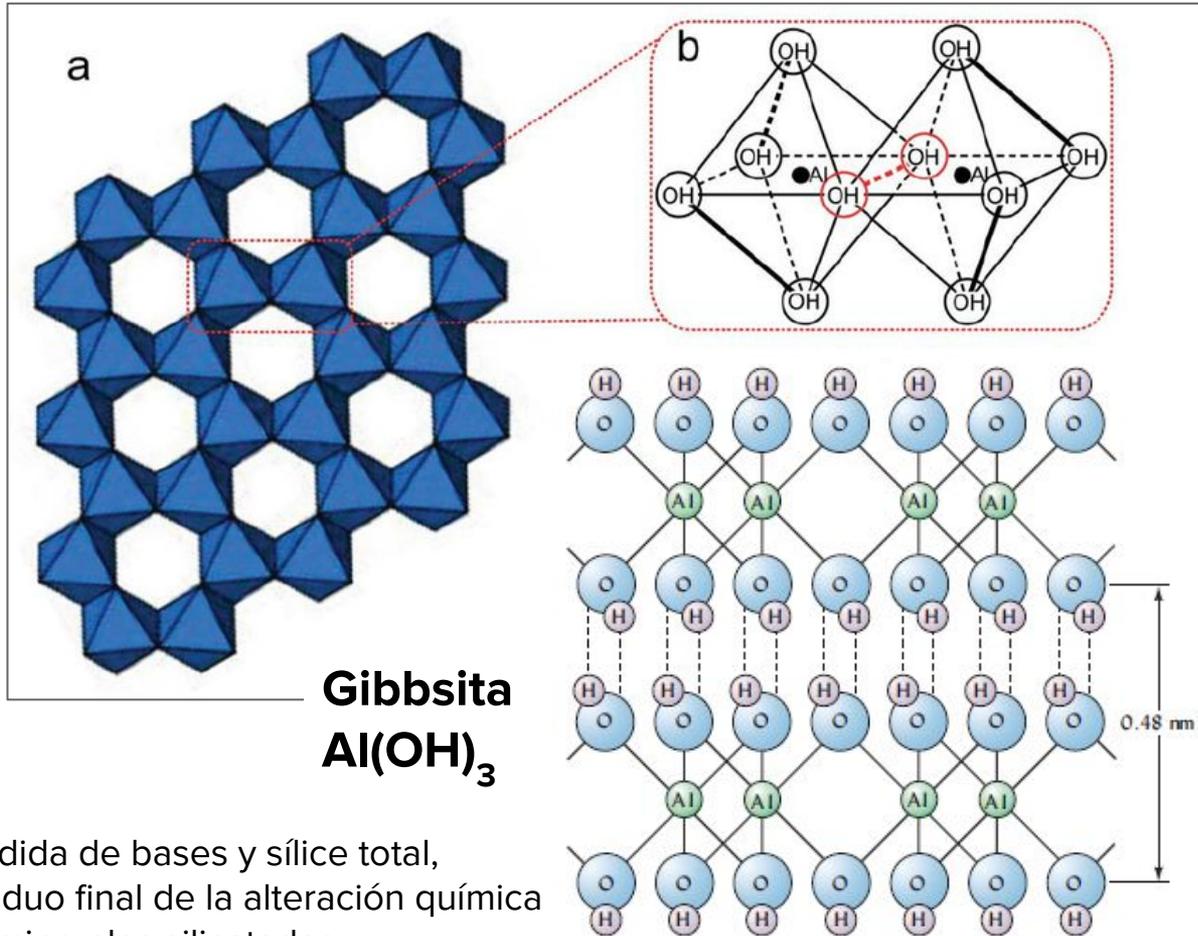
**Caolinita:**  
**Predomina en zonas  
 cálidas y húmedas y en  
 los trópicos  
 subhúmedos junto con  
 Óxidos e Hidróxidos de  
 Fe y Al**

**Esmectitas, Vermiculitas e Illitas:  
 Predominantes en suelos de  
 climas templados (Mollisoles,  
 Vertisoles)**

Vertisol en Mosendorf, Bélgica.

BDSOL (ASTA & LIST)





**Gibbsita**  
 **$\text{Al}(\text{OH})_3$**

Pérdida de bases y sílice total,  
residuo final de la alteración química  
de minerales silicatados

Predomina en suelos muy  
lixiviados (Oxisoles,  
Ultisoles). Zonas cálidas,  
tropicales, junto con  
caolinita. Grandes  
acumulaciones de este  
mineral se conocen como  
depósitos de Bauxitas.

# Oxidación / Reducción

Oxidación: Reacción en la que átomos o moléculas ceden electrones (reductores) y otros los ganan (oxidantes). Afecta a minerales con elementos con estados de oxidación variable. El más importante es el hierro ( $\text{Fe}^{2+}$ (reducido)/ $\text{Fe}^{3+}$ (oxidado))

Los silicatos y los óxidos de hierro y aluminio en contacto con agua y aire se exponen a procesos de oxidación. Ejemplos: sulfuros de Fe (pirita), óxidos de Fe (magnetita), silicatos de Fe (píroxenos, olivino) pasan a formar diversos óxidos de hierro.

Namibia, Damaraland

Contributor: [mauritius images GmbH](https://www.alamy.com/mauritius-images-gmbh/) / Alamy Stock Photo



Hematita:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

Magnetita:  $\text{Fe}_3\text{O}_4$

Ferrihidrita:  $5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$

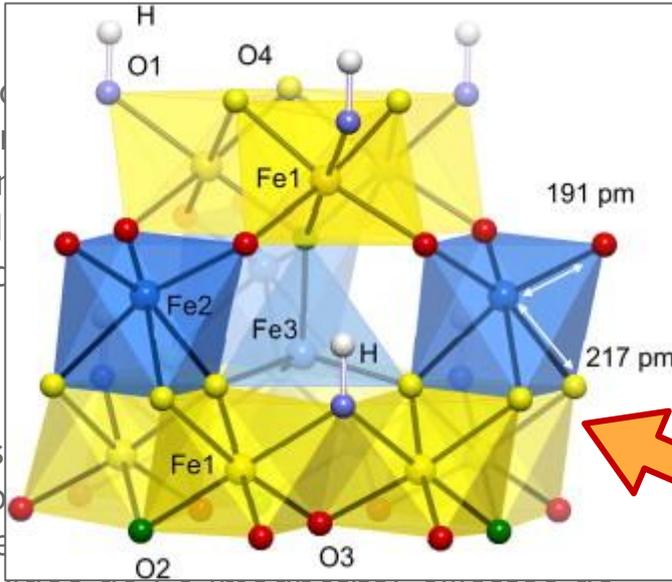
Goethita:  $\text{FeO}(\text{OH})$

Namibia, Damaraland

Contributor: [mauritus images GmbH](#) / Alamy Stock Photo

# Oxidación / Reducción

Oxidación:  
moléculas  
otros los ga  
con elemer  
variable. El  
(Fe<sup>2+</sup>(reducio



Los silicatos  
en contacto  
procesos de  
Fe (pirita), óxidos de Fe (magnetita), silicatos de  
Fe (píroxenos, olivino) pasan a formar diversos  
óxidos de hierro.

Predominan en suelos muy lixiviados (Oxisoles, Ultisoles). Zonas cálidas, tropicales, y áridas (hematita). Pueden también mezclarse con arcillas (formar recubrimientos, situarse en el espacio interlaminar de arcillas 2:1)

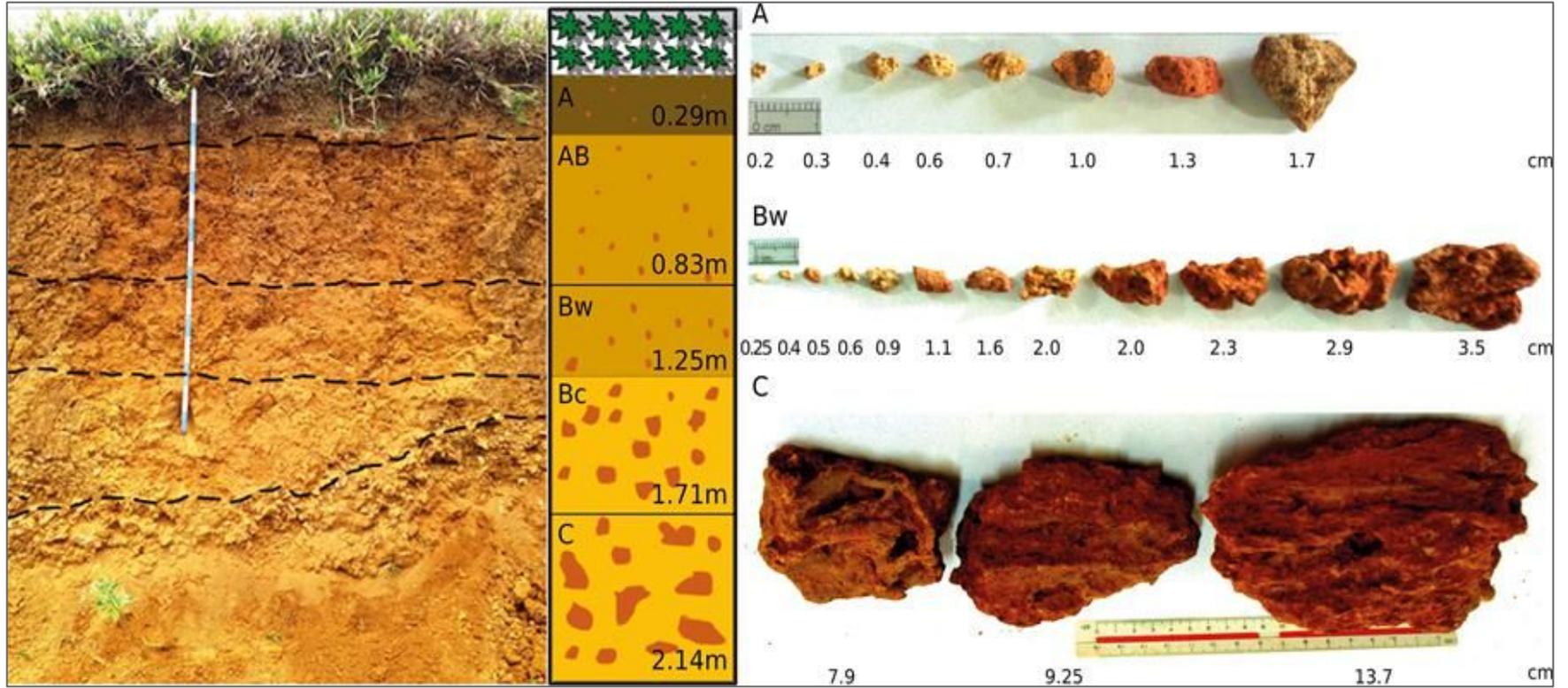
Hematita:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

Magnetita:  $\text{Fe}_3\text{O}_4$

Ferrihidrita:  $5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$

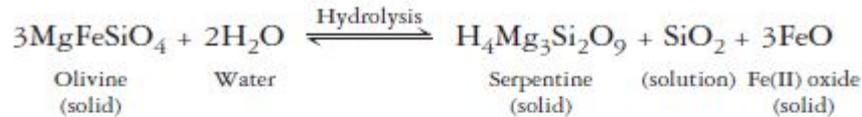
Goethita:  $\text{FeO}(\text{OH})$

**Hasta aquí clase lunes 12**

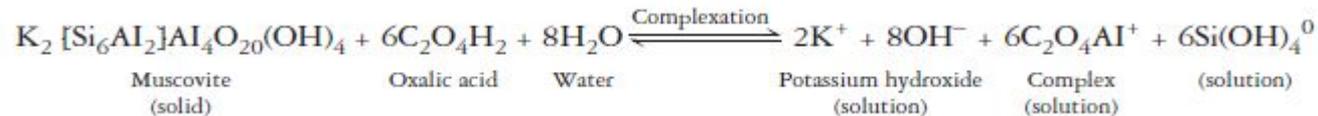
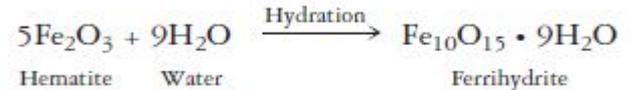
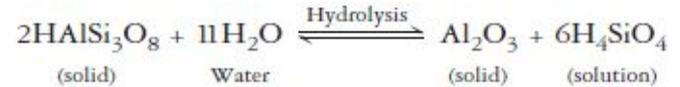
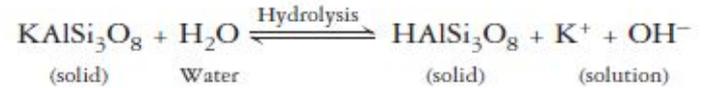
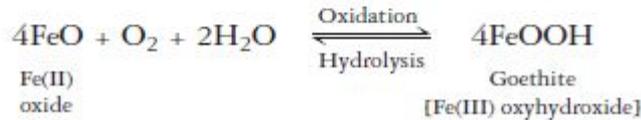


**Figure.** The L3 profile with pedological horizons A, AB, Bw, BC, and C delimited. Bauxite fragments with variable size are visible to the right. (Campos et al 2017)

# Interdependencia de las reacciones



Hidrólisis + oxidación



# Resultados de la alteración química

Iones en solución

-

Minerales secundarios

-

Minerales heredados

Son transportados en solución y pueden precipitar como nuevos minerales (p. ej. yeso, calcita)

Dominantes en la fracción arcilla: pueden ser de transformación, neoformación o herencia.

Dominantes en la fracción arena: cuarzo, moscovita, biotita, dolomita, siderita, granate, circón, andalucita, turmalina, rutilo, ilmenita, entre otros.

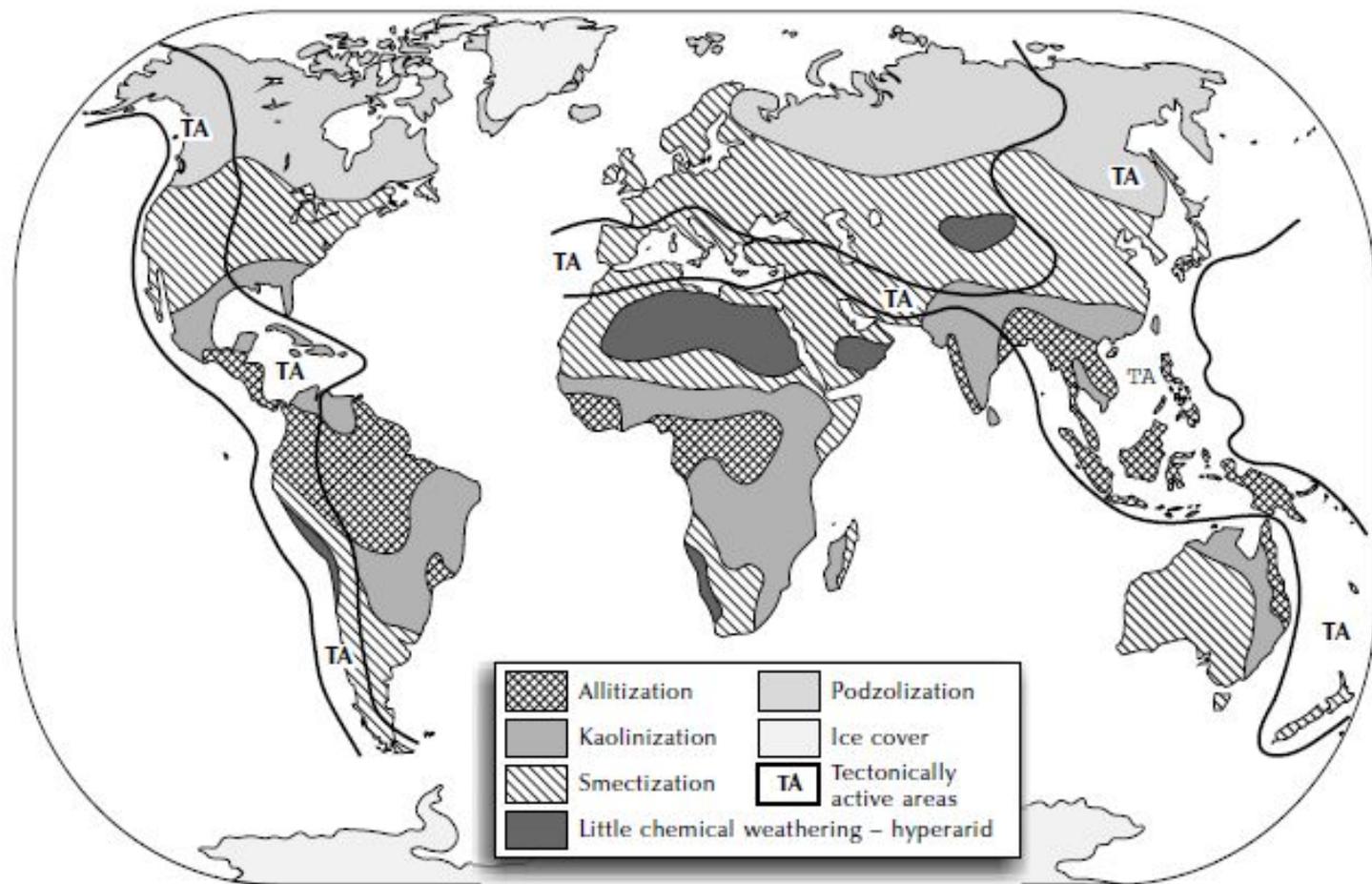
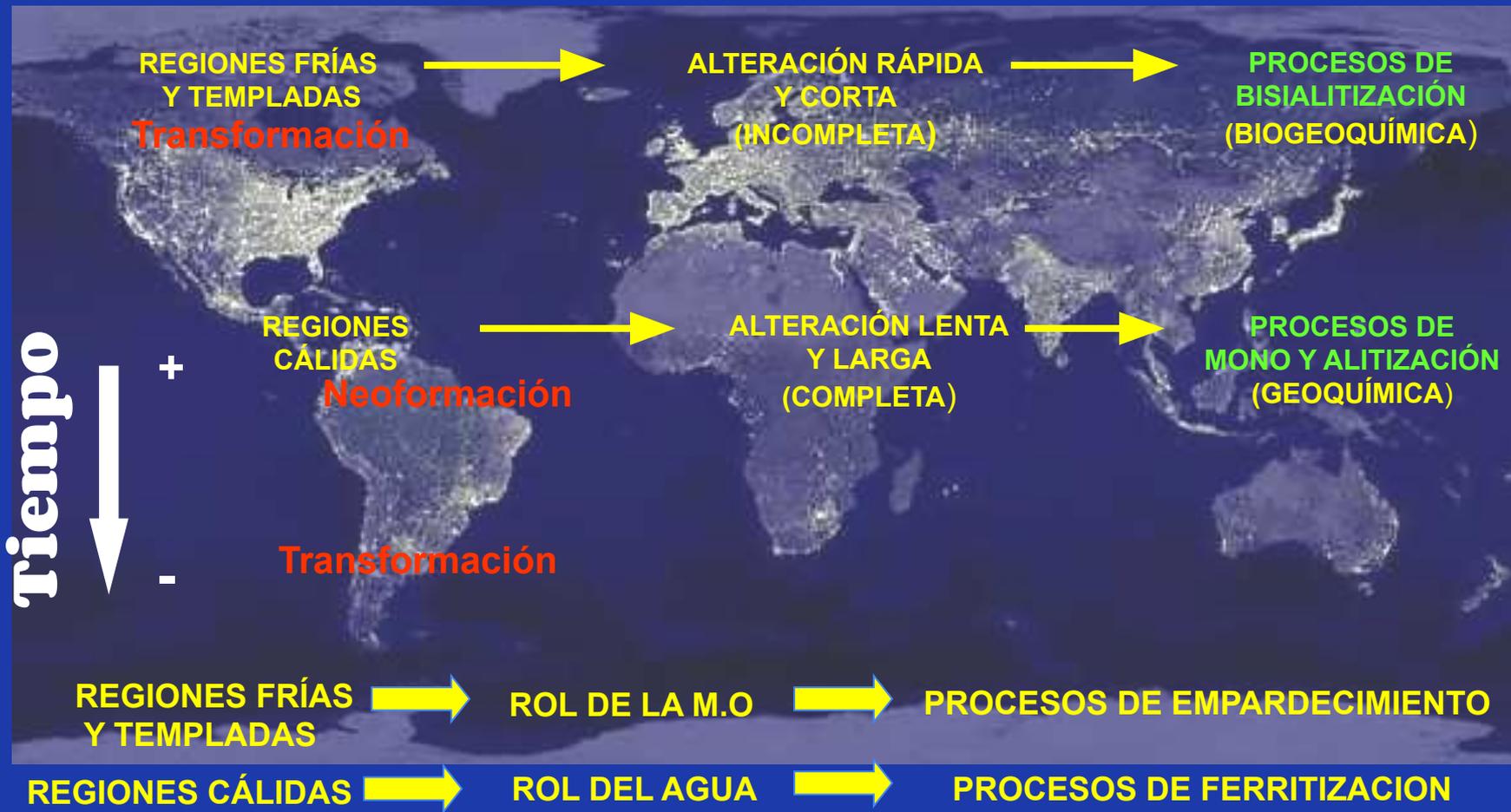


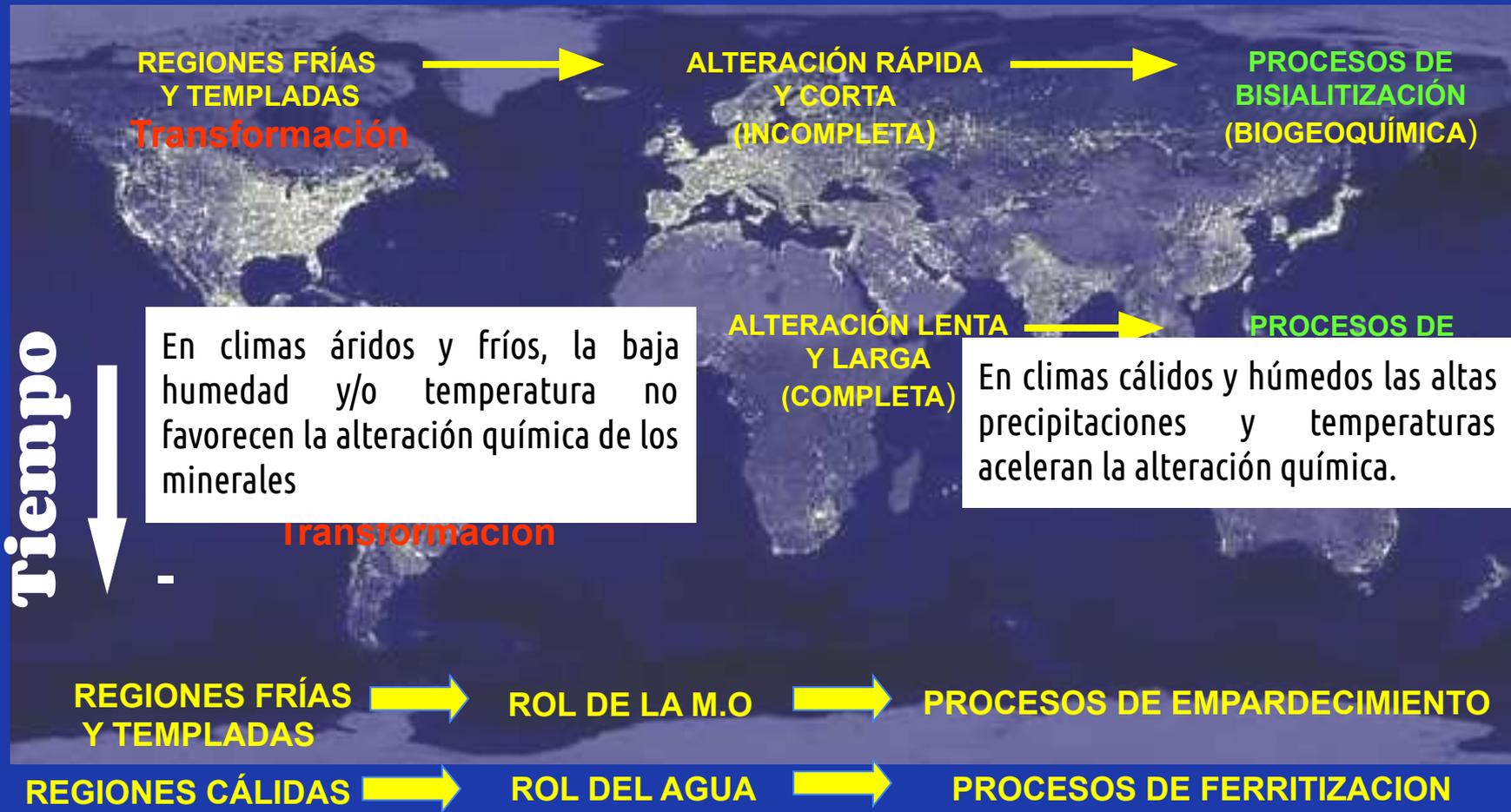
Figure 6.4 The main weathering zones of the Earth.

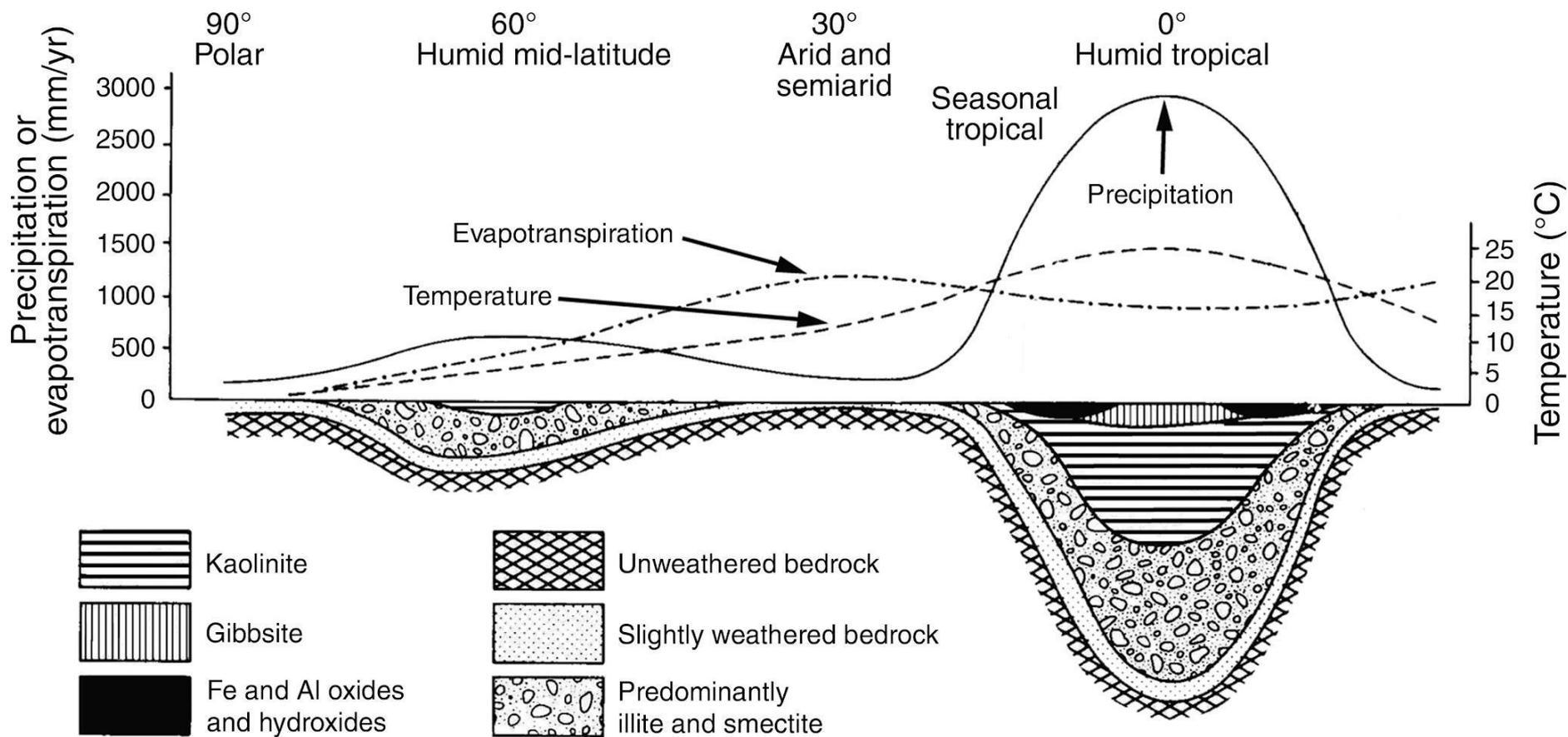
Source: Adapted from Thomas (1974, 5)

# Procesos de alteración química y bioclimas



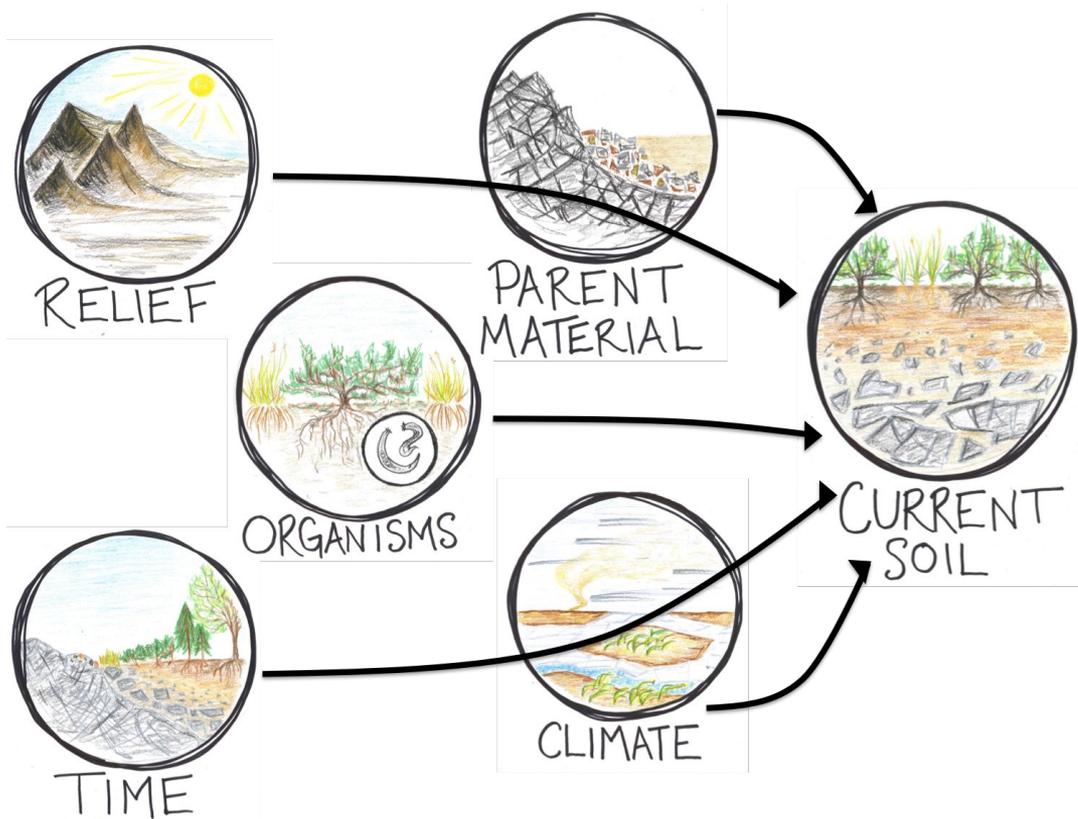
# Procesos de alteración química y bioclimas





Relación entre el clima y los suelos a lo largo de un gradiente latitudinal (a partir de Strakhov, 1968).

# Factores de formación de suelos

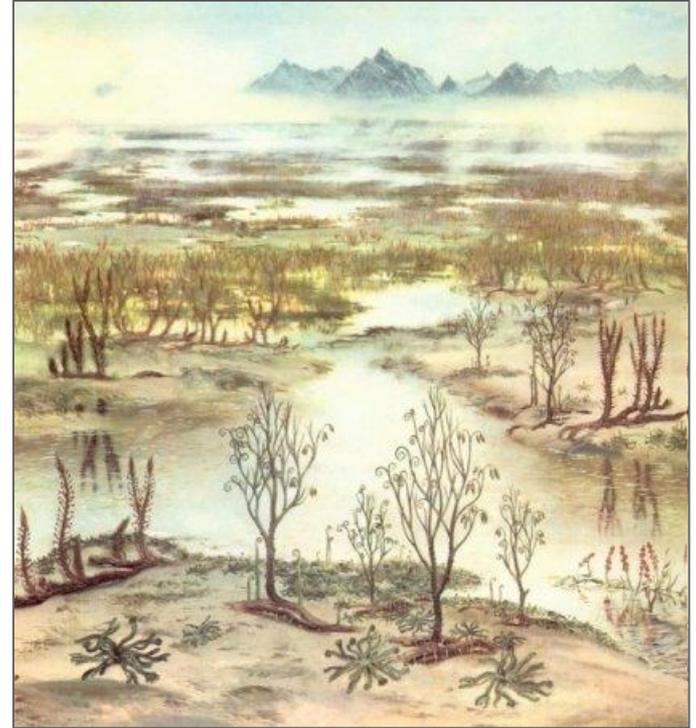


Los suelos se forman por la acción del *clima* y los *organismos vivos* sobre los *materiales geológicos* durante períodos de *tiempo* y bajo la influencia modificadora de la *topografía*. Estos **cinco factores** principales de formación del suelo determinan los tipos de suelo que se desarrollarán en un sitio determinado. Aunque los cinco factores interactúan y trabajan juntos, a veces la influencia de un factor domina sobre los demás.

# Formación y evolución de los suelos

En la historia geológica de nuestro planeta, los primeros suelos comenzaron a formarse con la llegada de las plantas vasculares a la superficie de la Tierra (período Silúrico: 440 Ma.).

*Una superficie de alteración estabilizada por su cubierta vegetal se convierte en el sustrato para que continúen los procesos de sucesión vegetal. Sin la cubierta vegetal –tanto en el pasado como en el presente– no habría suelos.*

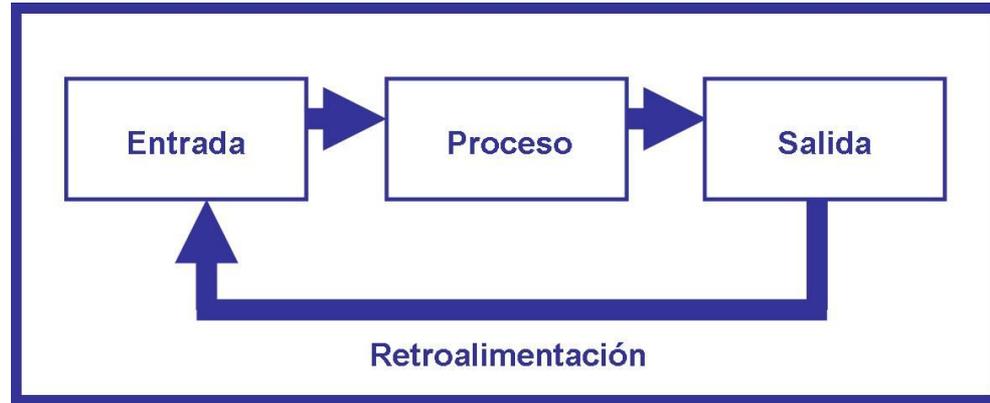


Caricatura mostrando el paisaje terrestre en el período Silúrico.

# Procesos de formación de suelos

Desde una perspectiva sistémica, tres procesos generales definen la formación de un suelo:

- aporte, alteración y pérdidas de componentes **minerales y orgánicos**.
- reorganización de ambos componentes (mezcla, síntesis, agregación, translocación y diferenciación).



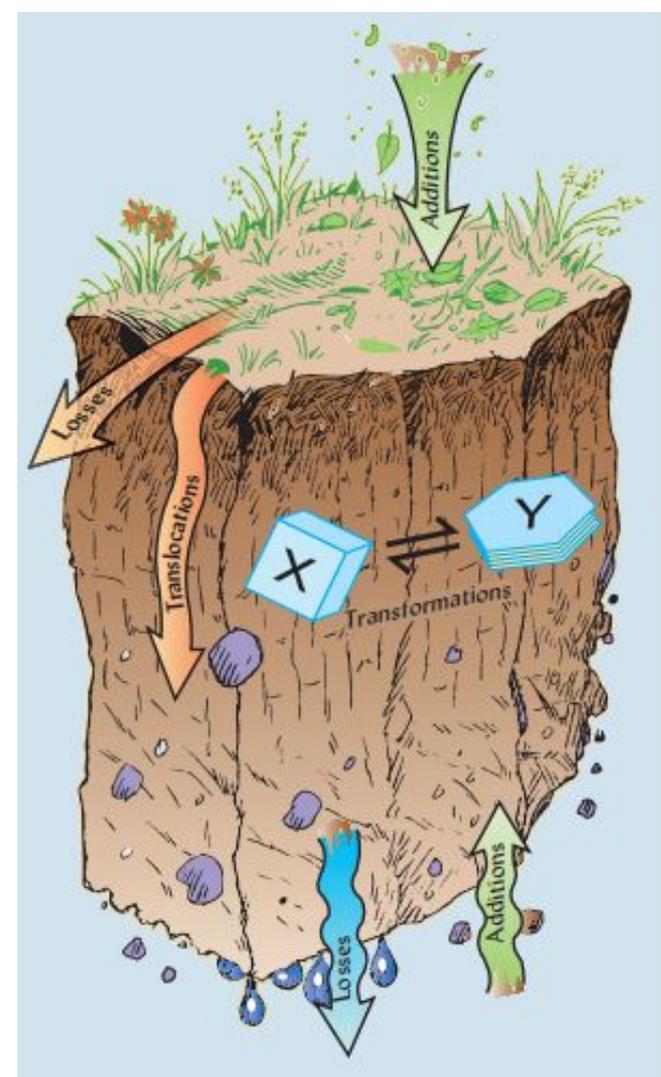
# Procesos generales (comunes a todo suelo)

**Aportes:** desde fuentes externas al suelo (por superficie o subterránea), de materiales como residuos orgánicos, sedimentos, *loess*, cenizas, y sales.

**Transformaciones:** alteración de minerales primarios y descomposición de materia orgánica, y síntesis de nuevos compuestos minerales y orgánicos.

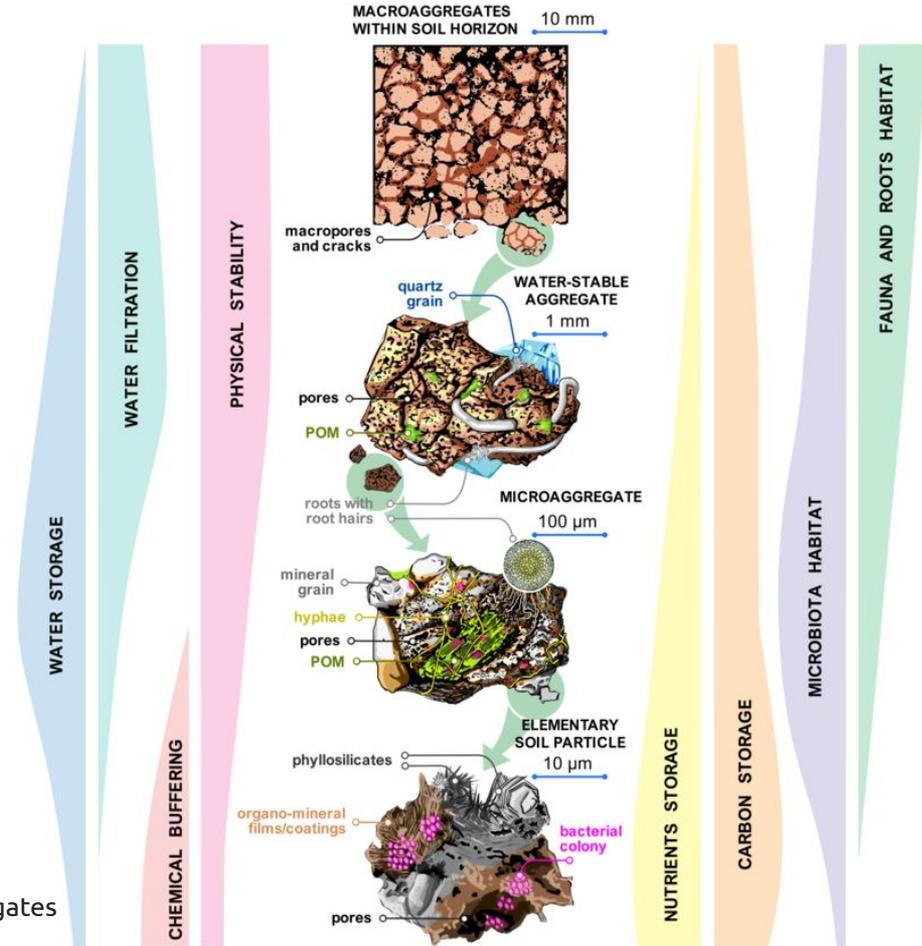
**Translocaciones:** de elementos de un estrato (u *horizonte*) del suelo a otro (ej. *acumulación de carbonatos*) e incluso, fuera del propio suelo.

**Pérdidas:** de elementos fuera del perfil de suelo, tales como agua, partículas erosionadas, materia orgánica oxidada y sales lixiviadas.



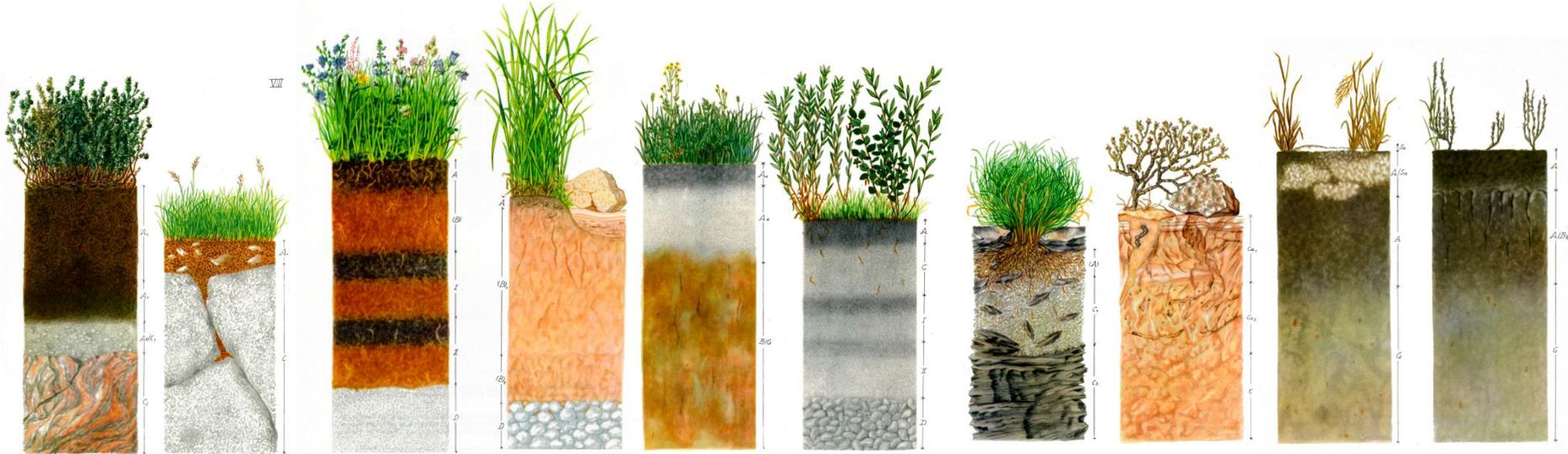
# Formación y estabilización de agregados del suelo

El suelo es un sistema jerárquico, autoorganizado y emergente que sostiene el crecimiento de plantas y microorganismos, permite la captura de carbono, facilita los flujos de agua y proporciona hábitat para los microorganismos, todo lo cual depende de la estructura del suelo.

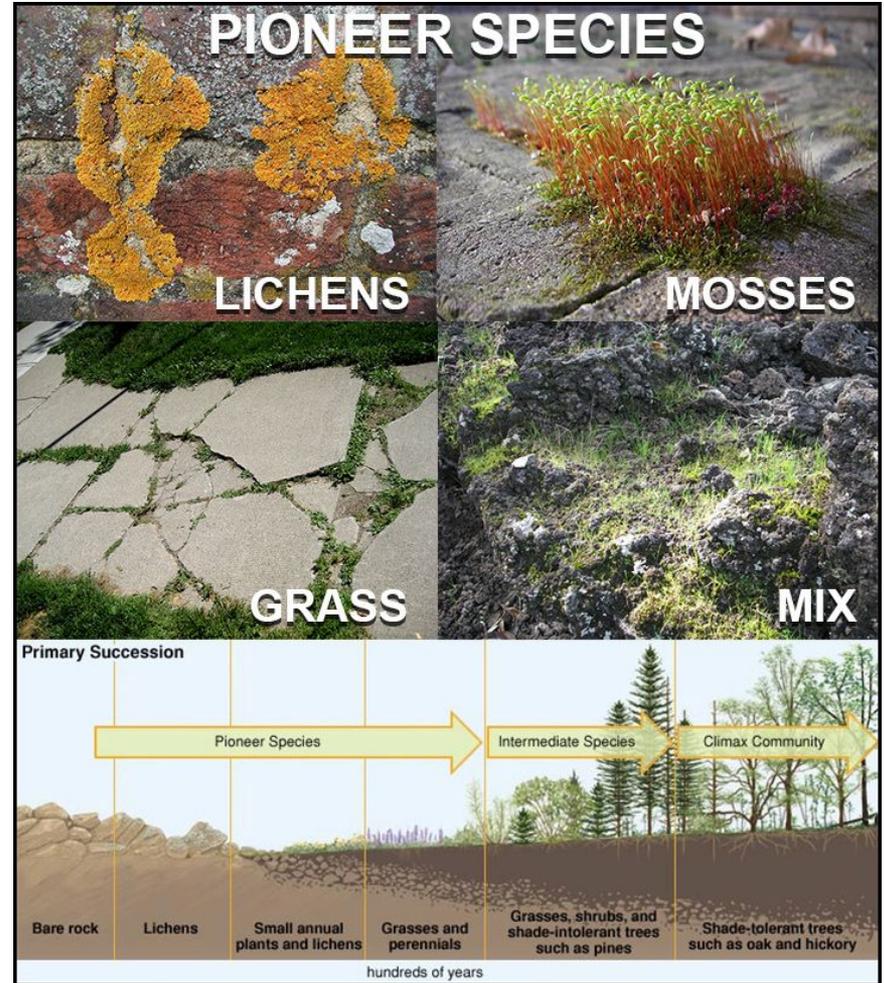


# Formación de suelos

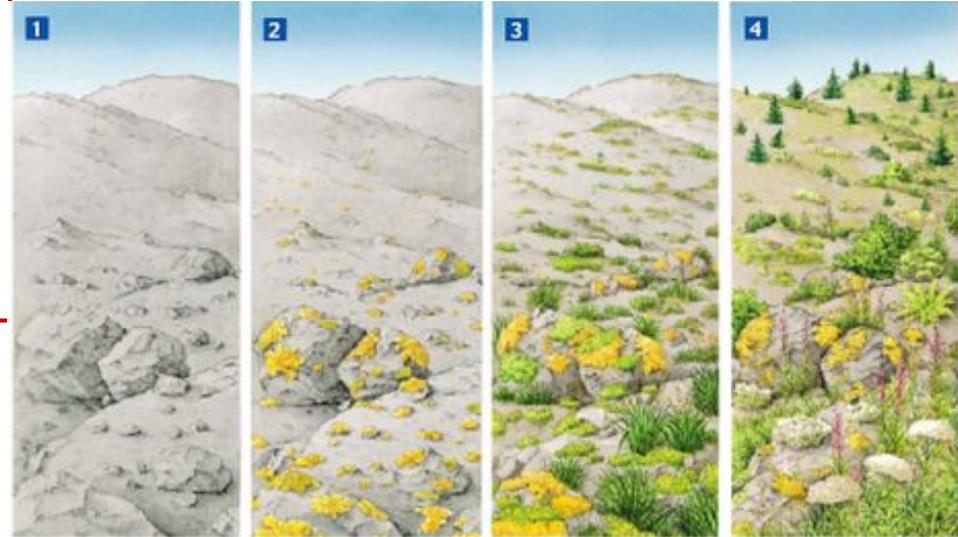
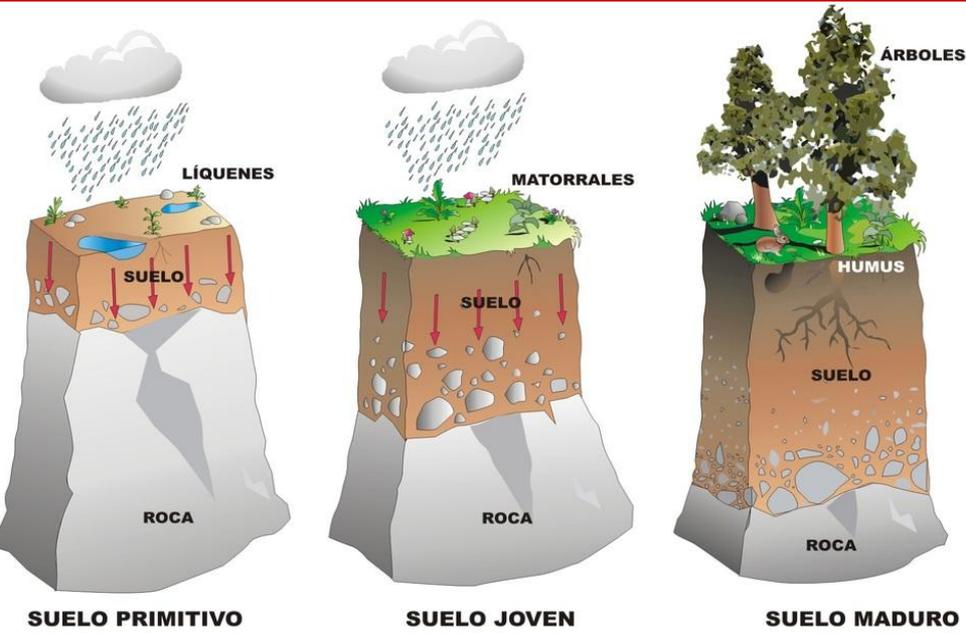
- 1) Desintegración y descomposición del material parental (meteorización)
- 2) Acumulación de materiales (aluviones, coluviones, depósitos eólicos)
- 3) Acumulación de materia orgánica



# Fases iniciales de la pedogénesis



## Ejemplos de procesos de sucesión vegetal



Esquema teórico de la formación y desarrollo de un suelo  
Existen fallas en este esquema...¿cuáles son?

# **Evolución del perfil de suelo**

- 1) Migración de materia orgánica y minerales, tanto descendente como ascendente.
- 2) Acumulación de productos de la migración en un horizonte profundo (B o C) o en superficie.

Ejemplo:



## Horizons

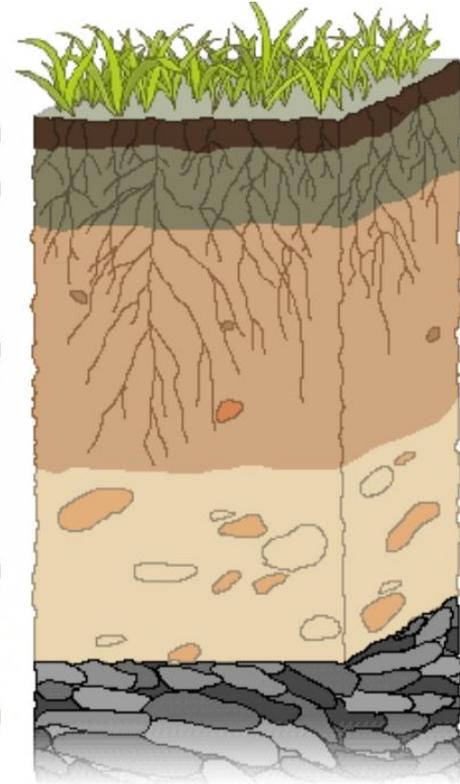
O (Organic)

A (Surface)

B (Subsoil)

C (Substratum)

R (Bedrock)



Diferenciación en  
horizontes

**Tabla 1.3.** Procesos pedogenéticos según Buol et al. (1989).

1a	Eluviación	3*	Salida de material desde una parte del perfil.		
1b	Iluviación	3	Acumulación de material en un sector del perfil.		
2a	Lavado	2	Salida de materiales solubles desde el solum.		
2b	Enriquecimiento	1	Término general que designa la incorporación de materiales al suelo.		
3a	Erosión superficial	2	Eliminación de materiales de la superficie del suelo.		
3b	Acumulación	1	Incorporación de partículas minerales a la superficie del solum por el viento, el agua y/o la acción del hombre.	7a	Ilimerización (argiluvación)
4a	Descalcificación	3	Reacciones que producen la eliminación de carbonato de calcio de uno o más horizontes.	7b	Pedoturbación (bioturbación, argiliturbación, crioturbación, etc.)
4b	Calcificación	3	Procesos que incluyen la acumulación de CaCO <sub>3</sub> en horizontes Ck y posiblemente en otros.		3 Mezclado de los materiales del suelo por diversos agentes biológicos y físicos (acción de la fauna, ciclos de expansión contracción, congelamiento - descongelamiento, etc.).
5a	Salinización	3	Acumulación de sales solubles (sulfatos y cloruros de Ca, Mg, Na y K) en horizontes salinos.	8a	Podzolización
5b	Desalinización	3	Eliminación de sales solubles de horizontes salinos.	8b	Desilicificación (ferralitización, ferritización, alitización)
6a	Alcalinización (colonización, sodificación)	3	Acumulación de iones sodio en los sitios de intercambio del complejo coloidal del suelo.	8c	Resilicificación
6b	Desalcalinización (solodización)	3	Eliminación de iones y sales de sodio de los horizontes sódicos.	9a	Descomposición
				9b	Síntesis
					3 Migración mecánica de partículas minerales finas desde los horizontes A a los horizontes B, produciendo en éstos enriquecimiento relativo de la fracción arcilla (por ej., en el horizonte argílico).
					3,4 Migración química de Al y Fe y/o materia orgánica que conduce a una concentración de sílice (silicificación) en la capa eluviada.
					3,4 Migración química de sílice desde el solum y concentración de sesquióxidos (goethita, gibbsita, etc.) en el solum, con formación o no de laterita y concreciones.
					4 Formación de caolinita a partir de gibbsita en presencia de un exceso de Si(OH) <sub>4</sub> en solución o formación de montmorillonita? a partir de caolinita en presencia de grandes cantidades de Si(OH) <sub>4</sub> a pH altos.
					4 Desintegración de materiales minerales y orgánicos.
					4 Formación de nuevas partículas de especies minerales y orgánicas.

Los números indican las 4 categorías de procesos elementales consideradas por Simonson (1959), 1 Incorporaciones; 2 Pérdidas; 3 Anslaciones y 4 transformaciones.

Tabla 1.3. cont.

10a	Melanización	1,3 Oscurecimiento de materiales minerales no consolidados, inicialmente de colores claros.
10b	Leucinización	3 Decoloración de horizontes debido a la desaparición de materiales orgánicos oscuros, ya sea por transformación en otros más claros o por eliminación de esos horizontes.
11a	Acumulación de mantillo (" <i>littering</i> ")	1 Acumulación sobre la superficie del suelo mineral de restos orgánicos no transformados y humus asociado, hasta una profundidad de menos de 30 cm.
11b	Humificación	4 Transformación de materia orgánica fresca en humus.
11c	Paludización (" <i>paludization</i> ")	4 Procesos considerados por algunos investigadores como geogénicos más que pedogénicos. Incluyen la acumulación de depósitos profundos (más de 30 cm de espesor) como materiales sápricos (" <i>muck</i> ") y turba (Histosoles).
11d	Maduración (" <i>ripening</i> ")	4 Cambios químicos, biológicos y físicos en un suelo orgánico después que el aire penetra en el material previamente saturado con agua.
11e	Mineralización	4 Producción de sustancias inorgánicas simples por descomposición de la materia orgánica.
12a	Empardecimiento Rubificación Ferruginización	3,4 Liberación de hierro a partir de minerales primarios y dispersión de partículas de óxidos de hierro en cantidades crecientes. Su oxidación o hidratación progresivas otorgan a la masa del suelo colores parduscos, pardo rojizos y rojos.

12b	Gleización (Hidromorfismo)	3,4 Reducción del hierro en condiciones de saturación con agua, con formación de colores gris azulados o verdosos en la matriz, con presencia o no de moteados pardo amarillentos, pardos y negros y concreciones ferro-manganíferas.
13a	Ahuecamiento (esponjamiento mullimiento)	4 Aumento del volumen de poros por actividad de plantas, animales y el hombre, por congelamiento-descongelamiento y otros procesos físicos, o por eliminación de material debido a lavado.
13b	Endurecimiento	4 Disminución del volumen de poros por colapso y compactación, o por rellenamiento de vacíos con tierra fina, carbonatos, sílice u otros materiales.

## Región Pampeana: procesos y tiempo

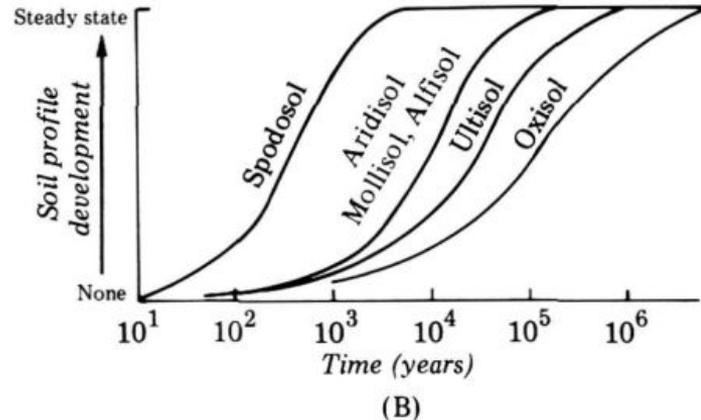
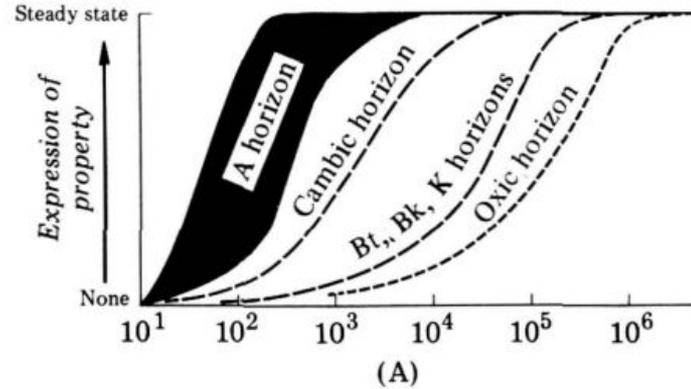
**Tabla 1.1.** Tiempos característicos de algunos procesos pedogenéticos.

Procesos rápidos	$10^1 - 10^2$ años	Gleización, salinización, empardecimiento, crioturbación, bioturbación, estructuración, compactación.
Procesos intermedios	$10^3$ años	Melanización, queluviación, andosolización, argiluviación, fersialitización, cementación por Fe o Al, migración de carbonatos, solonización
Procesos lentos	$10^4 - 10^6$ años	Ferralitización, alitización, petrocementación, saprolitización profunda

*Basado en Targulian y Krasilnikov, 2007. (en Fadda, 2005)*

# ¿En cuánto tiempo se dan estos procesos?

Los procesos son los mismos, solo actúan con diferente intensidad dependiendo de las condiciones ambientales, o del factor que predomina

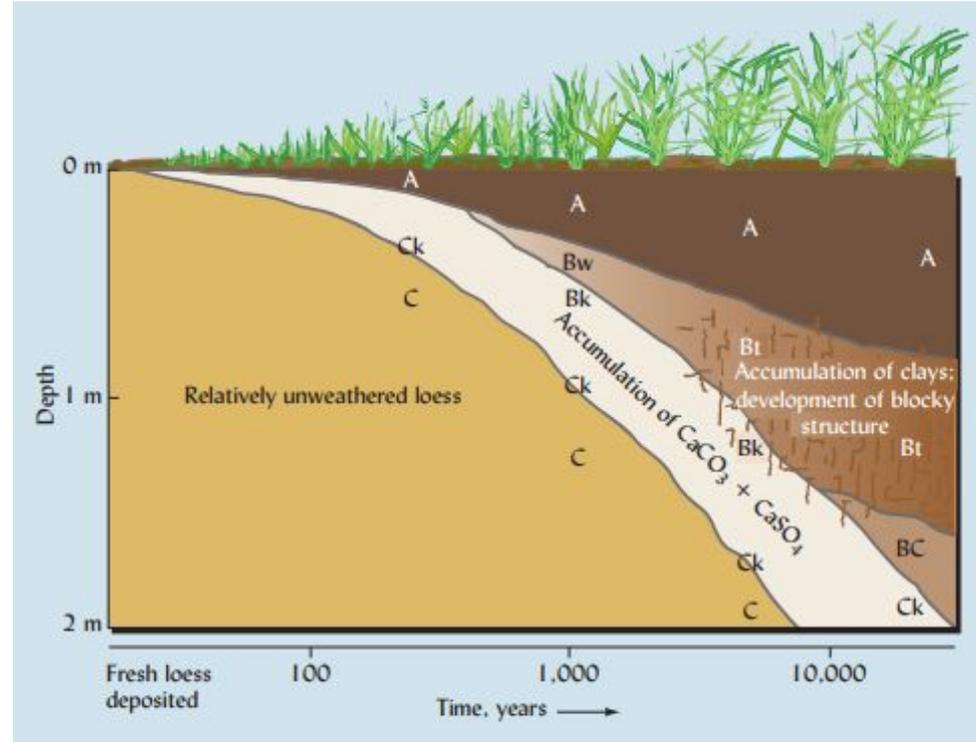


Schematic diagrams showing the variations in time to attain the steady state for (A) various soil properties and (B) various soil orders. (Birkeland)

# Formación y evolución del perfil de suelo

## Etapas:

- 1) Alteración y/o deposición de sedimentos.
- 2) Establecimiento de la biota y producción de MO.
- 3) Progresión de la meteorización.
- 4) Desarrollo de Hz C. Intemperización.
- 5) Desarrollo de un Hz A incipiente.



# Formación y evolución del perfil de suelo

6) Humificación y translocación de materiales.

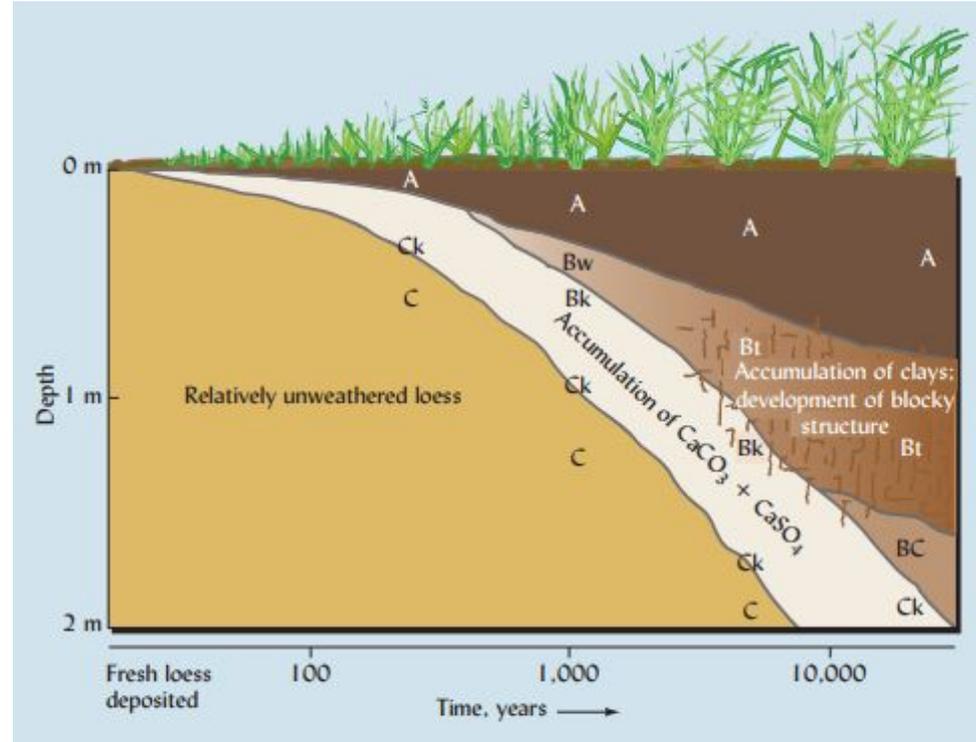
7) Desarrollo de eluviación/ iluviación.  
Formación de Hz Bt.

8) Consolidación de fenómenos de transferencia.

9) Perfil tipo ABC.

10) Progresa el desarrollo del perfil.

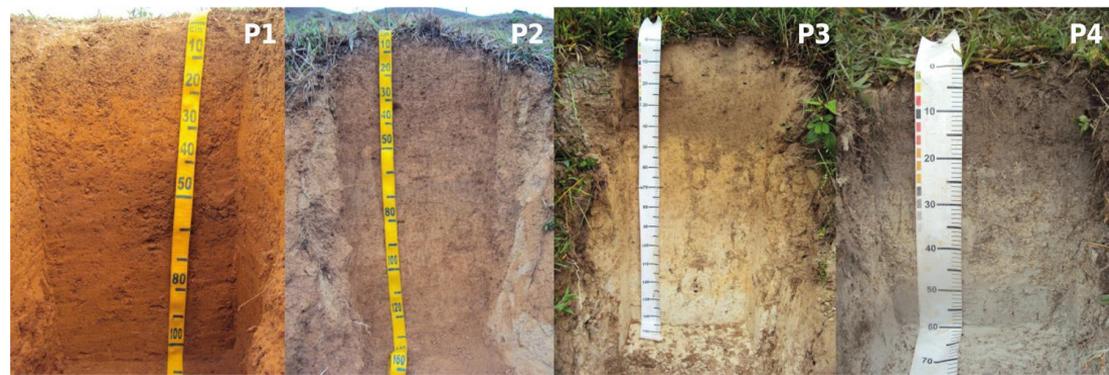
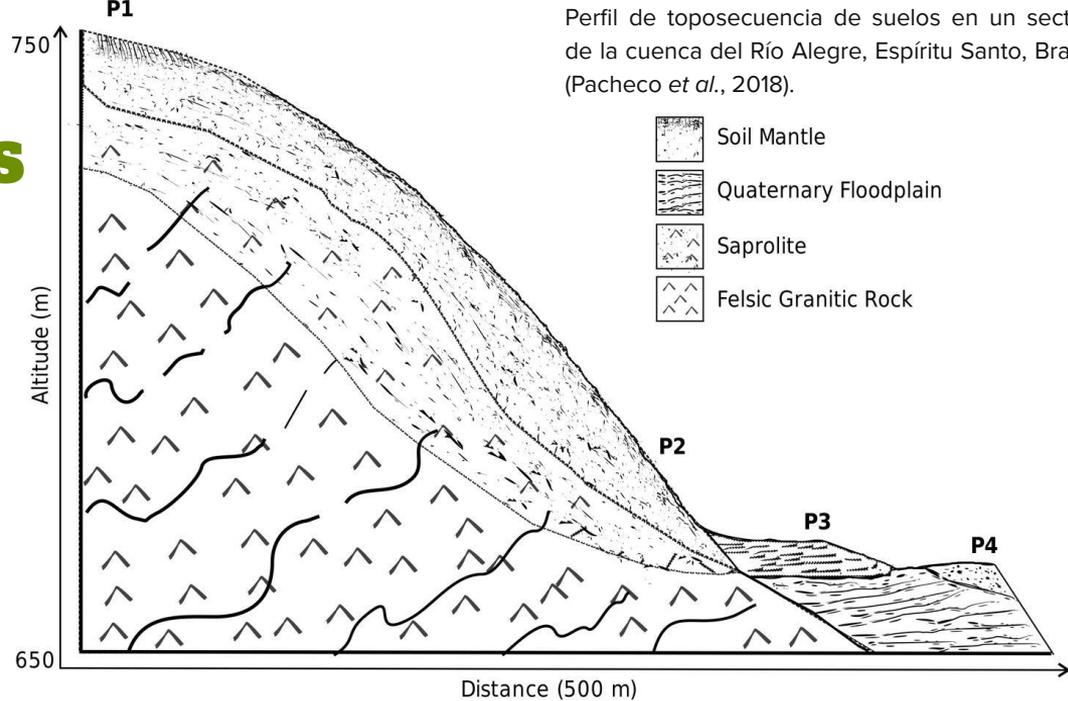
11) Diferenciación en subhorizontes.



# Procesos específicos

El desarrollo de un tipo específico de suelo (ej. podzol) o de cierto atributo común a varios suelos (ej. horizonte B) es el resultado de la acción combinada de los procesos básicos de formación, pero dependiente a la vez, de la intensidad que adquiere uno de estos procesos (ej. podsolización, iluviación de arcillas) y éste, dependiente del tipo de materiales involucrados (naturaleza química de los residuos orgánicos o de los minerales del material parental).

Perfil de toposecuencia de suelos en un sector de la cuenca del Río Alegre, Espírito Santo, Brasil (Pacheco *et al.*, 2018).

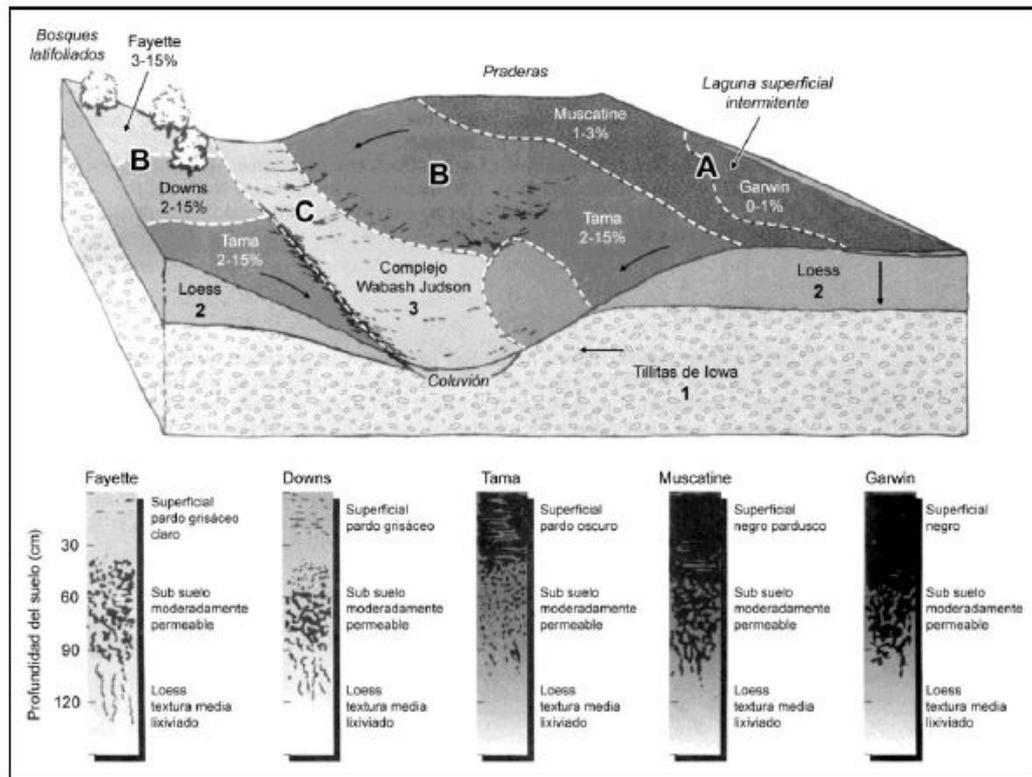


# Geoquímica del paisaje

Estudio del comportamiento de los elementos químicos (cationes, aniones, isótopos, etc) en el paisaje (lateral y verticalmente).

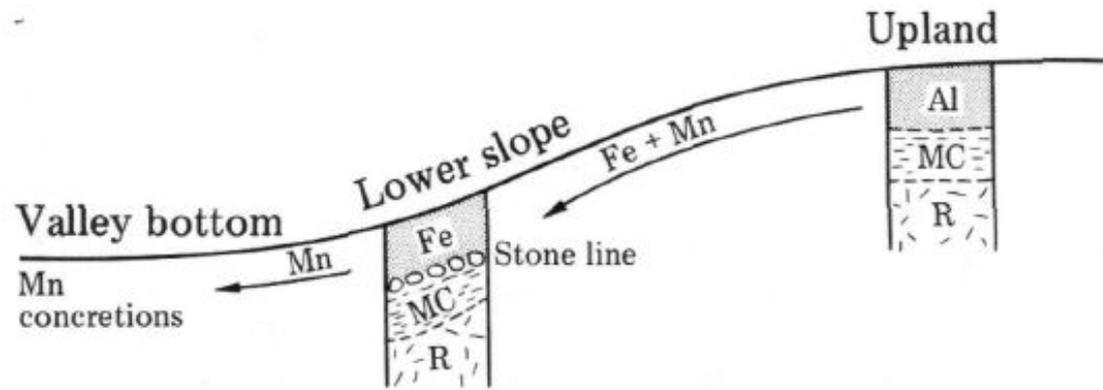
Se desarrolló en la escuela rusa de “Ciencia del Paisaje”, a partir de Dokuchaev (1846-1903) y Polynov (1867-1952). La impartió Perelman en los años 50 en la Universidad de Moscú.

Hoy representa el vínculo entre la geoquímica de exploración moderna y las ciencias ambientales modernas, incluida la geoquímica ambiental.

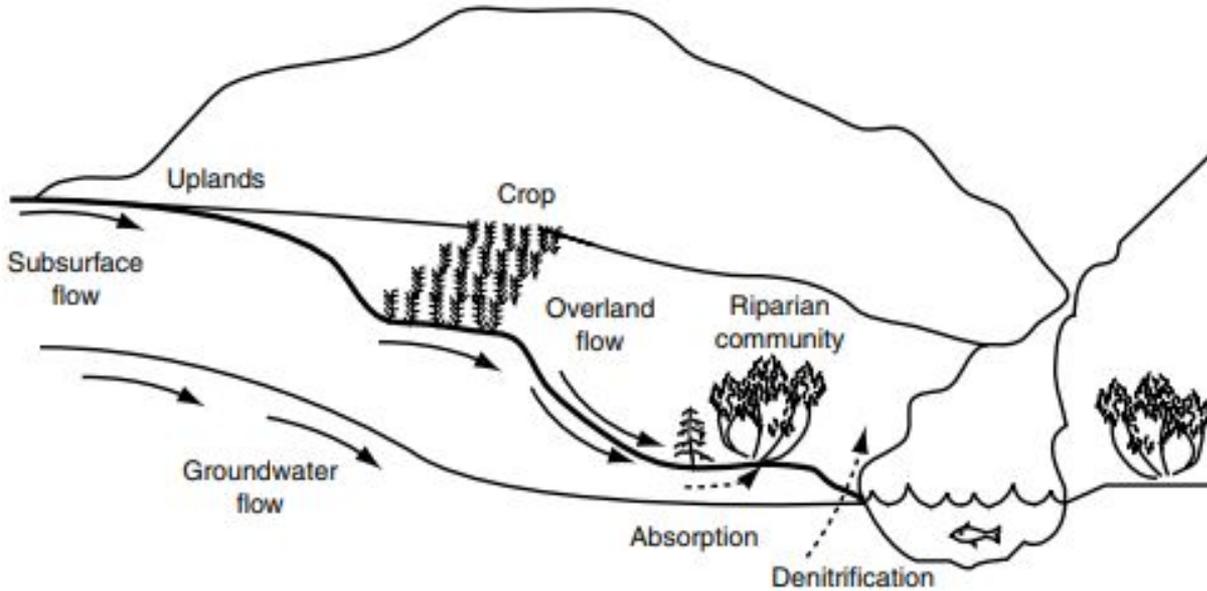


**Figura 1** – Formación de diferentes tipos de suelos (ejemplo de los sistemas pedológicos paisajísticos del estado de Iowa, EE.UU.).

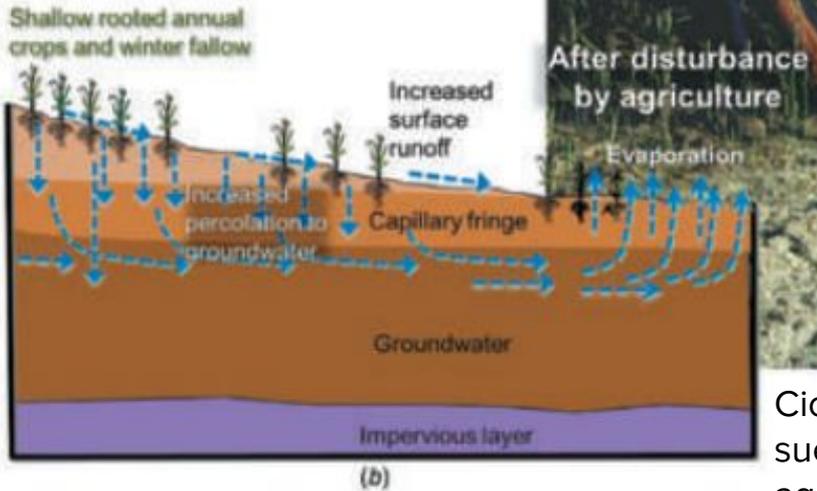
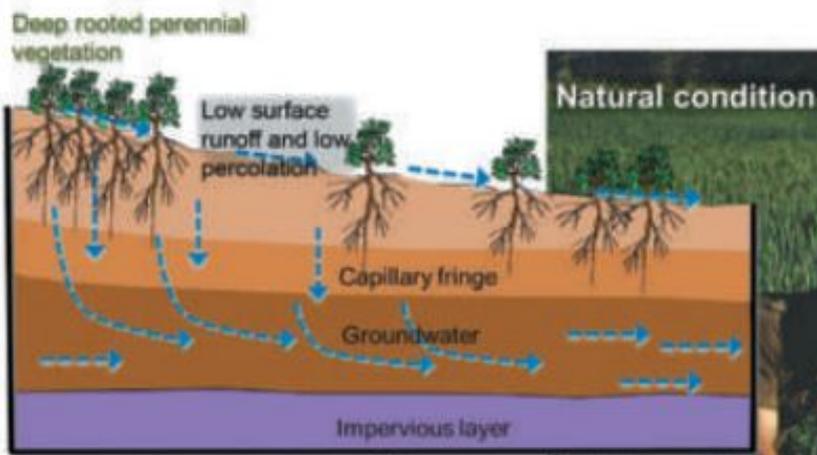
Sea un paisaje donde los materiales madre de los suelos son 1, 2, 3. Las flechas indican el movimiento del agua superficial y sub-superficial. Los suelos son: A: Suelos que retienen agua, B: Suelos que se erosionan y pierden agua, C: Suelos que reciben agua extra. Todos estos suelos serán interdependientes, tendrán distinto drenaje, distinta pérdida y/o aporte de elementos químicos y aún de materia. Adaptado de Brady & Weil (1996).



**Fig. 9-9** Variation in morphology and chemistry of Oxisols with topographic position; the arrows depict general movement of soil moisture, iron, and manganese. (Taken from Hamilton,<sup>22</sup> Fig. 1.) Key: Al, bauxitic horizon; Fe, ferruginous horizon; MC, mottled clay; R, parent material.

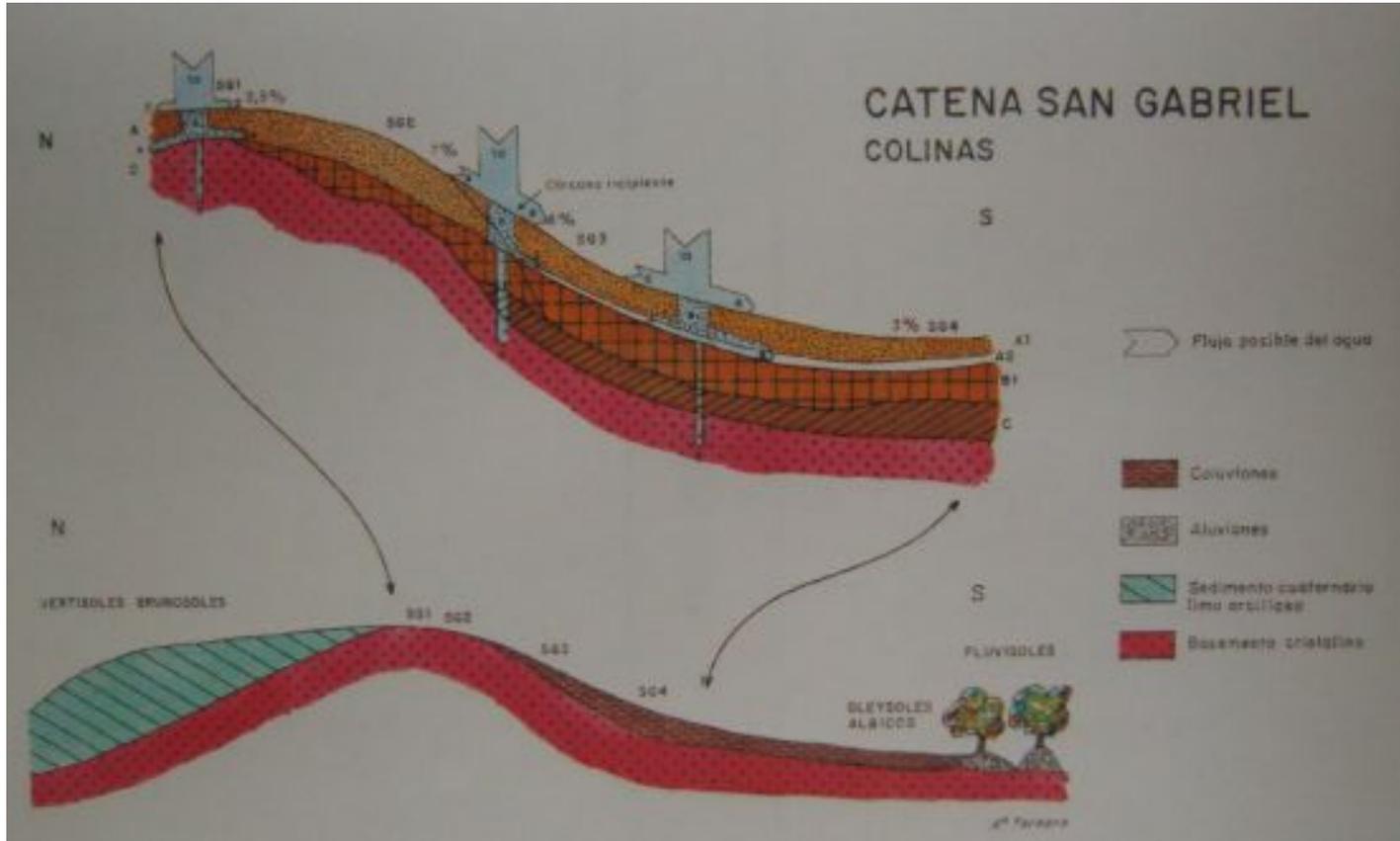


Interacciones entre ecosistemas controladas por el relieve. Erosión y transferencia en solución de elementos en flujo subsuperficial o agua subterránea. La vegetación riparia absorbe nutrientes de suelos bien aireados, mientras que la desnitrificación requiere condiciones anóxicas, que generalmente ocurren bajo la napa freática. La absorción de Nitrógeno y la desnitrificación son los mecanismos más importantes por los cuales las zonas riparias filtran nitrógeno del agua subterránea entre ecosistemas de zonas altas y cursos de agua. (Tomado de Chapin *et al.*, 2011).



Ciclos biogeoquímicos modificados por el cambio de uso del suelo. Sales aflorando en zonas bajas luego de practicar agricultura en una región semiárida. (Weil, 2016).

# Ejemplos en Uruguay: catena



# Material de apoyo para este tema

Gutiérrez Elorza, M. (2008). Geomorfología. Capítulo 5: Meteorización y formas resultantes.

Weil y Brady (2017). The nature and properties of soils. Capítulo 2: Formation of soils from parent materials.

De León, L. y Cayssials, R. (2004). Los suelos de Uruguay y su potencial de aprovechamiento. En: Cuencas Sedimentarias del Uruguay: Cenozoico. DIRAC - Facultad de Ciencias.

Imbellone, P., Giménez, J., Panigatti J. (2010). Suelos de la Región Pampeana: Procesos de formación. Ed. INTA. Buenos Aires. 320 pp.

Birkeland (1984). Soils and geomorphology.