

Geología estructural, geomorfología e hidrogeología



Curva de la Herradura (Arizona, USA)

Mecánica de Suelos y Geología
Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires

Índice

- Geología estructural
- Geomorfología
- Hidrogeología

Esfuerzo y deformación

Cambio en las rocas o macizos rocosos (diferentes escalas) que incluyen modificaciones en:

- Tamaño
- Forma
- Orientación
- Composición



A través principalmente de **fuerzas tectónicas** → **esfuerzos** (Fza x Sup)

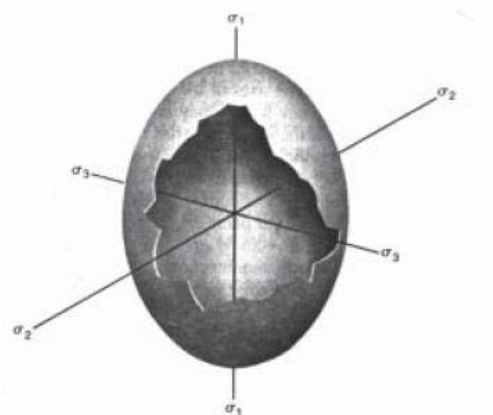
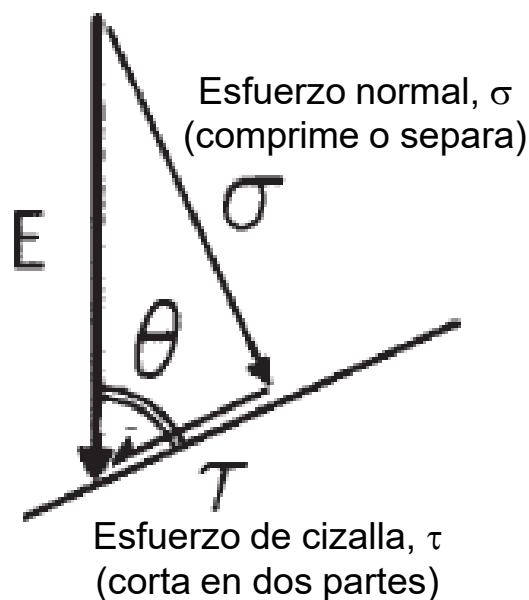
Dependerán de: magnitud, litología, temperatura, tiempo/velocidad, fluidos, anisotropías de la roca, etc.

Esfuerzo y deformación

Esfuerzo:

- Uniforme (presión de confinamiento o litoestática)
- Diferencial (tectónico – márgenes activos)

Esfuerzo oblicuo, E



“Elipsoide de esfuerzo” = esfuerzos y direcciones principales ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$)

Figura 1-8- Elipsoide triaxial poliaxial mostrando las principales.

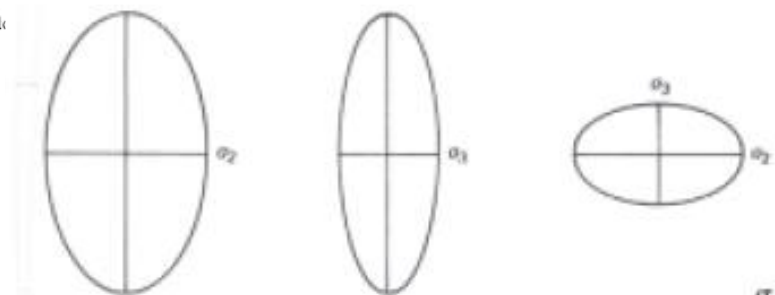
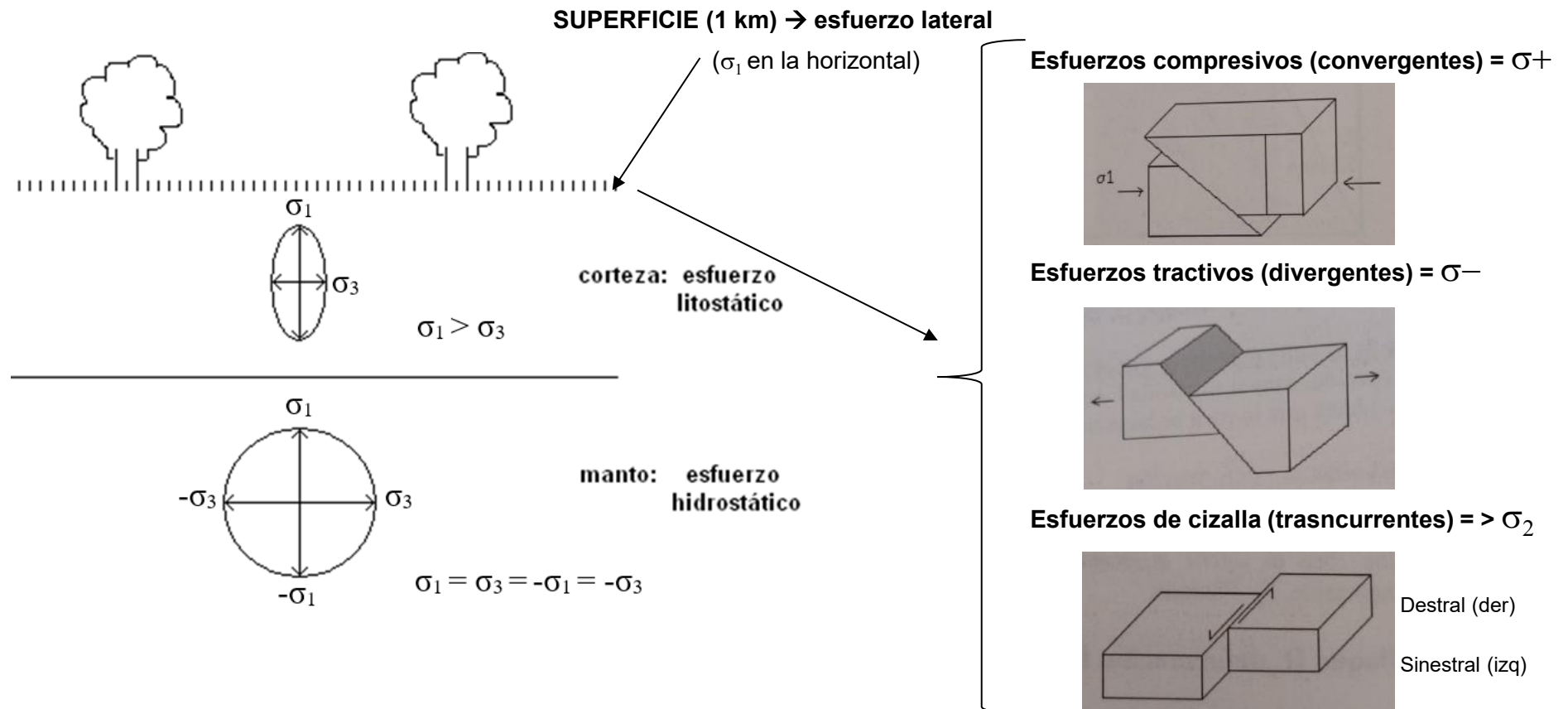


Figura 1-3- Componentes del esfuerzo.

Esfuerzo y deformación

Esfuerzo:

- Uniforme (presión de confinamiento o litoestática)
- Diferencial (tectónico – márgenes activos)

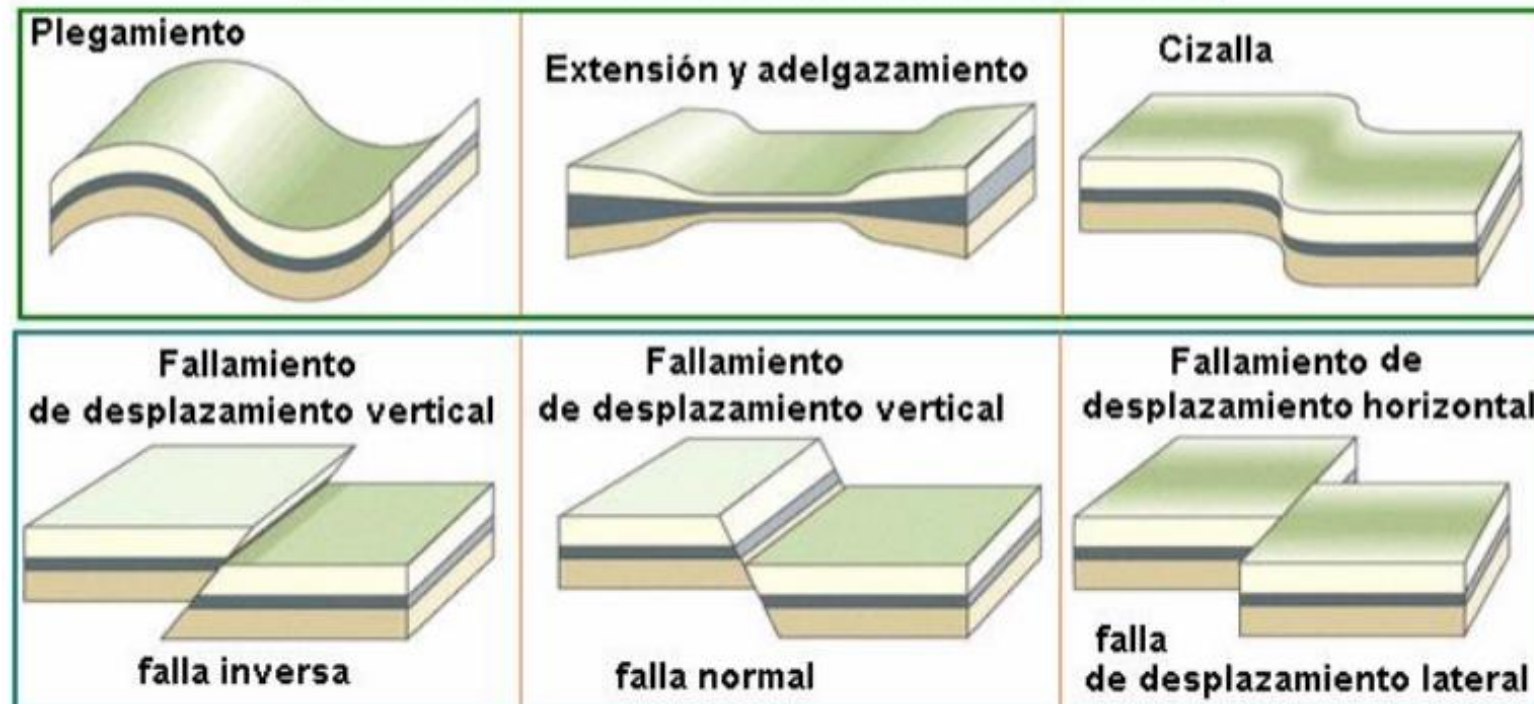


Esfuerzo y deformación

Esfuerzo:



Estructuras resultantes de cada tipo de esfuerzos



→ Deformación dúctil
(≈10-50km)

Frágil-dúctil
(≈ 10-20 km)

→ Deformación frágil
(≈ 0-15km)

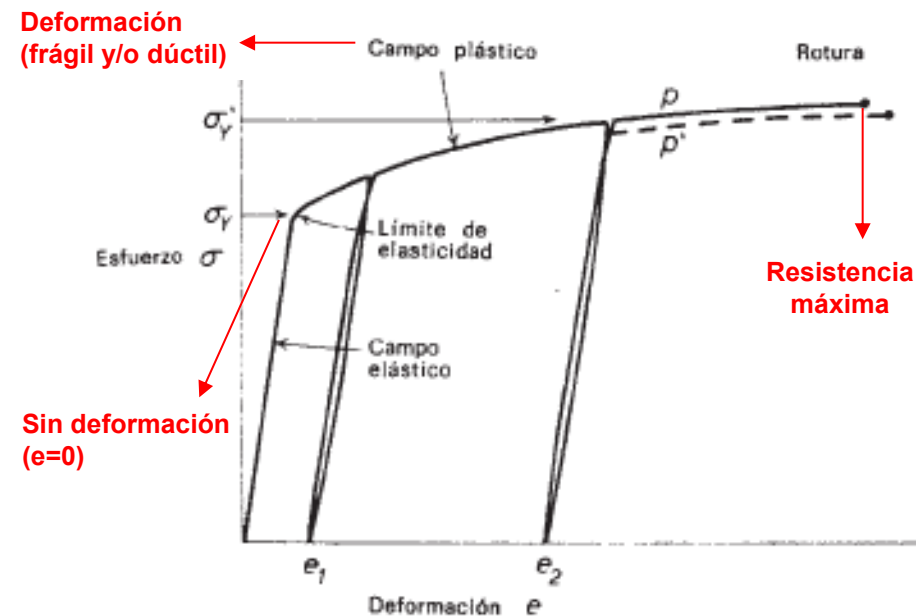
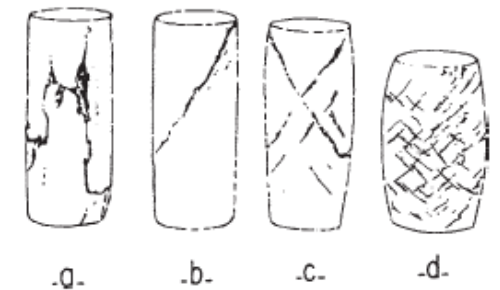
Esfuerzo y deformación

Deformación: cambio de posición de un conjunto de partículas de la roca respecto a su posición inicial.

• Continua: la materia no pierde continuidad → **Deformación dúctil**
(PLIEGUES)

• Discontinua: separación de partículas
→ **Deformación frágil**
(FALLAS, DIACLASAS)

- Mod. de Young ($=\sigma/\varepsilon$): esfuerzo necesario para causar deformación.
- Coef. De Poisson ($=\varepsilon_y/\varepsilon_x$): relación entre la deformación transversal y longitudinal



Esfuerzo y deformación

Tabla 5
Identificación de campo de la resistencia a compresión simple

Término	Identificación de campo	Resistencia a compresión simple MPa
Extremadamente blanda ^{a)}	Se raya con la uña del dedo	Menor que 1
Muy blanda	Se desmenuza con un golpe seco con la punta de un martillo de geólogo; se puede descascarillar con un navaja	1 a 5
Blanda	Se puede descascarillar con cierta dificultad con un navaja; se pueden hacer rayas poco profundas con el pico del martillo de geólogo	5 a 25
De resistencia media	No se puede raspar o descascarillar con una navaja; la muestra se puede fracturar con un fuerte golpe con el martillo de geólogo	25 a 50
Resistente	La muestra precisa más de un golpe de martillo de geólogo para fracturarse	50 a 100
Muy resistente	La muestra precisa de muchos golpes de martillo geológico para fracturarse	100 a 250
Extremadamente resistente	Sólo puede partirse la muestra con un martillo de geólogo	Mayor que 250
^a Algunas rocas extremadamente débiles podrían comportarse como suelos, y deberían describirse como suelos de acuerdo con los criterios de la Norma Internacional ISO 14688-1.		

Rocas más comunes

Esquistos, pelitas, evaporitas

Pizarras, piroclásticas

Calizas, areniscas, conglomerados

Granitos, gabros, gneises, cuarcitas, basaltos, andesitas mármoles

NOTA – La resistencia a compresión simple no siempre puede definirse en el campo, por lo que con frecuencia se utiliza el ensayo de la carga puntual como índice de la resistencia de la roca.

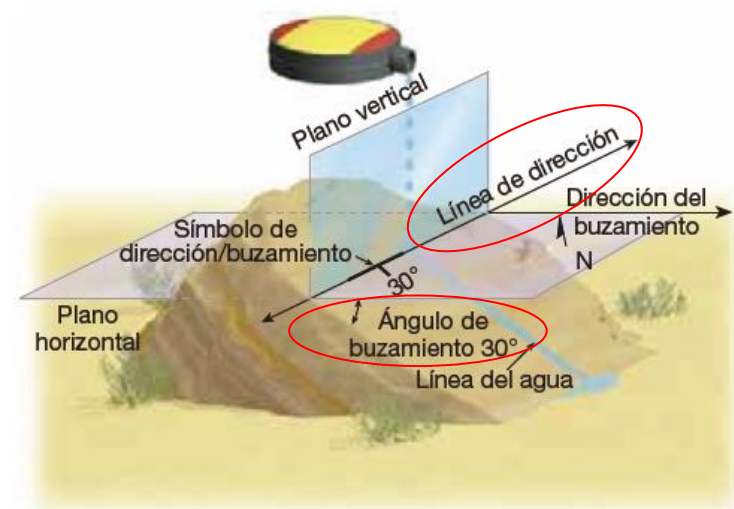
Traducido y modificado de norma BS EN ISO 14689:2018

Dirección e inclinación

Características estructurales de las unidades litológicas

- **DIRECCIÓN: Línea por intersección** entre el plano **horizontal** y el plano del **estrato** (o discontinuidad) inclinado.
 - Su **RUMBO** se mide por el ángulo horizontal formado entre el Norte Magnético y la línea de dirección. Se puede expresar en:
 1. Azimuts (0° - 360° , desde el N en sentido horario), o
 2. Cuadrantes (rumbo NE, SE, SW ó NW)

- **INCLINACIÓN: Ángulo vertical** formado entre el plano **horizontal** y el plano del **estrato** inclinado (o discontinuidad).
 - Se mide el **ángulo perpendicular al rumbo**:
 - 0° = plano horizontal
 - 90° = plano vertical



Dirección e inclinación

Características estructurales de las unidades litológicas

Brújula (tipo Brunton)



Lectura con brújula geológica:
Dirección (horizontal)

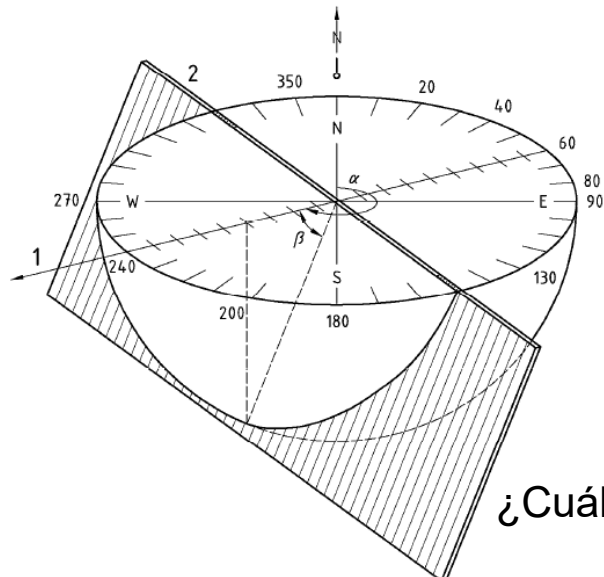


Az 150°
Rumbo S30°E

Inclinación (vertical)



50°
50°W ó 50° al SW

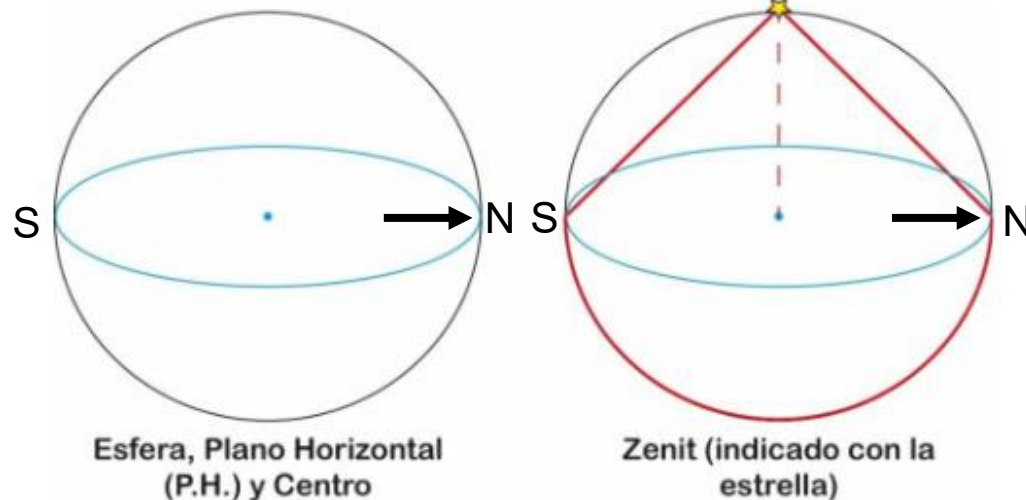


¿Cuál es la dirección (azimut o rumbo) e inclinación de este plano?

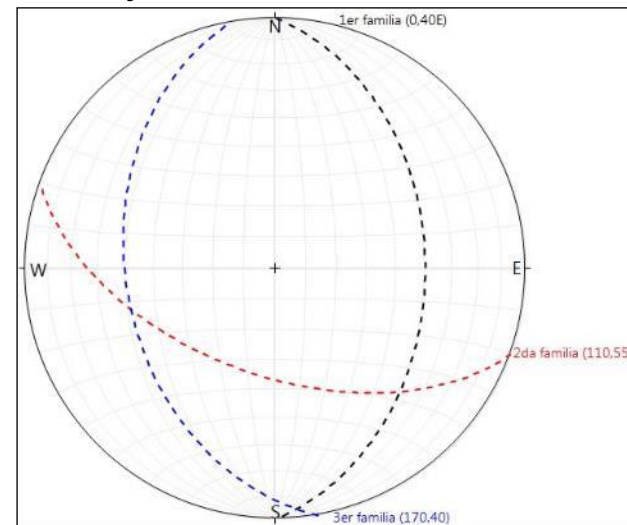
Cartografía estructural

Proyección estereográfica

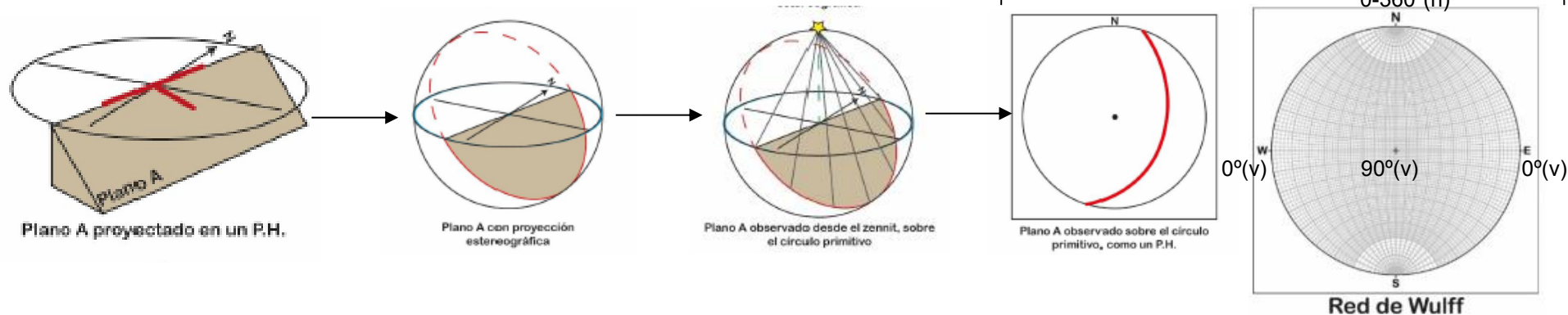
Observación



Ej: 3 familias de diaclasas



Proyección de un plano inclinado



Pliegues

Deformación dúctil de las rocas por aplicación de esfuerzos

Formas de un pliegue:

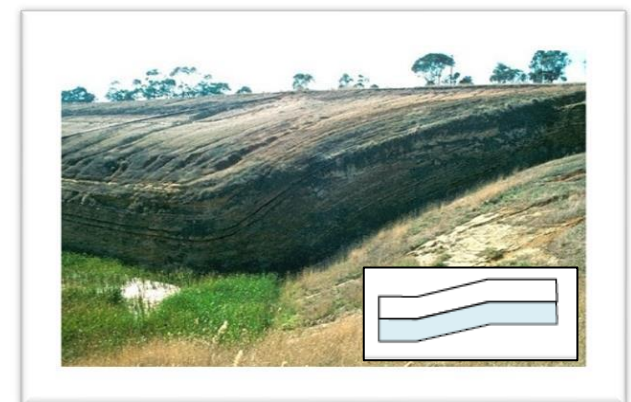
- Anticlinal (forma convexa = flancos divergen → cresta) → + antiguo* en el centro
- Sinclinal (forma cóncava = flancos convergen → seno) → + joven* en el centro
- Monoclinal (flanco en única dirección)



ANTICLINAL



SINCLINAL



MONOCLINAL

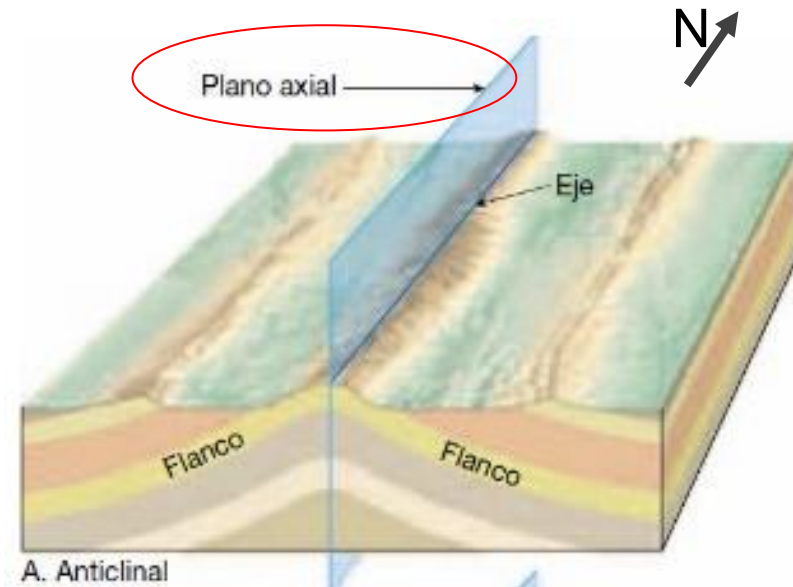
* pero se debe conocer la edad de los estratos

Pliegues

Deformación dúctil de las rocas por aplicación de esfuerzos

Partes de un pliegue:

- Flancos (o limbos)
- Cresta y seno
- Plano axial → **inclinación**
- Eje (o charnela) → **buzamiento**



A. Anticlinal

Tipos de pliegue:

Simétrico
(= PA vertical)



Asimétrico
(= PA inclinado)



Volcado
(flancos de = inclinación)



Recumbente
(= PA horizontal)

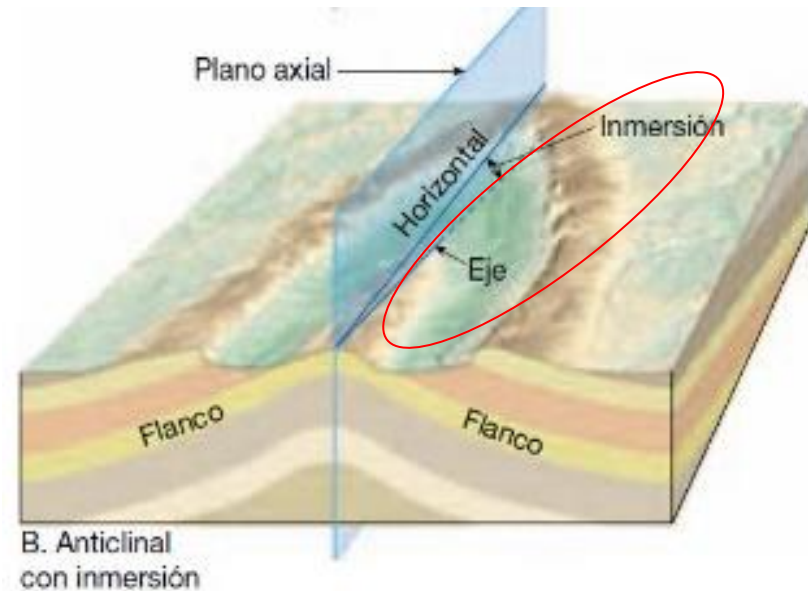


Pliegues

Deformación dúctil de las rocas por aplicación de esfuerzos

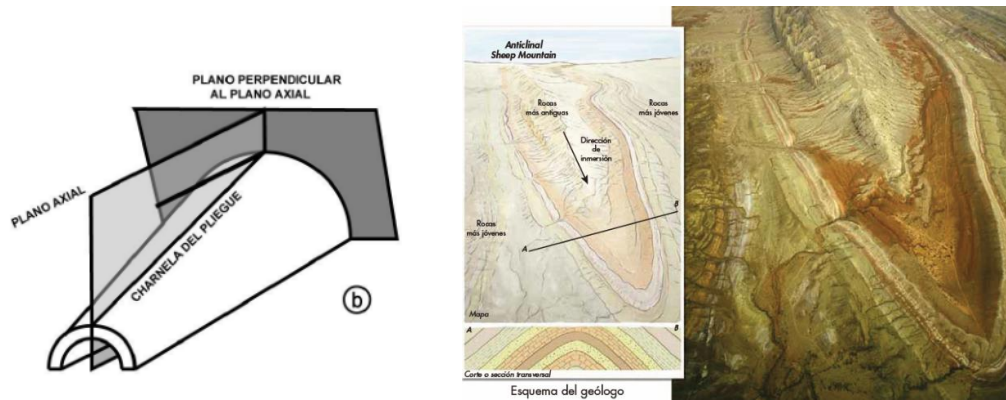
Partes de un pliegue:

- Flancos (o limbos)
- Cresta y seno
- Plano axial → **inclinación**
- Eje (o charnela) → **buzamiento**

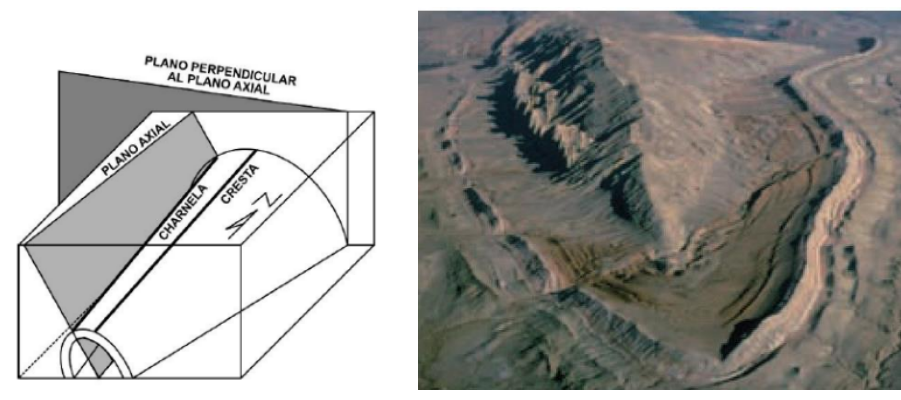


Ejemplo: Anticlinales con buzamiento

Simétrico



Asimétrico



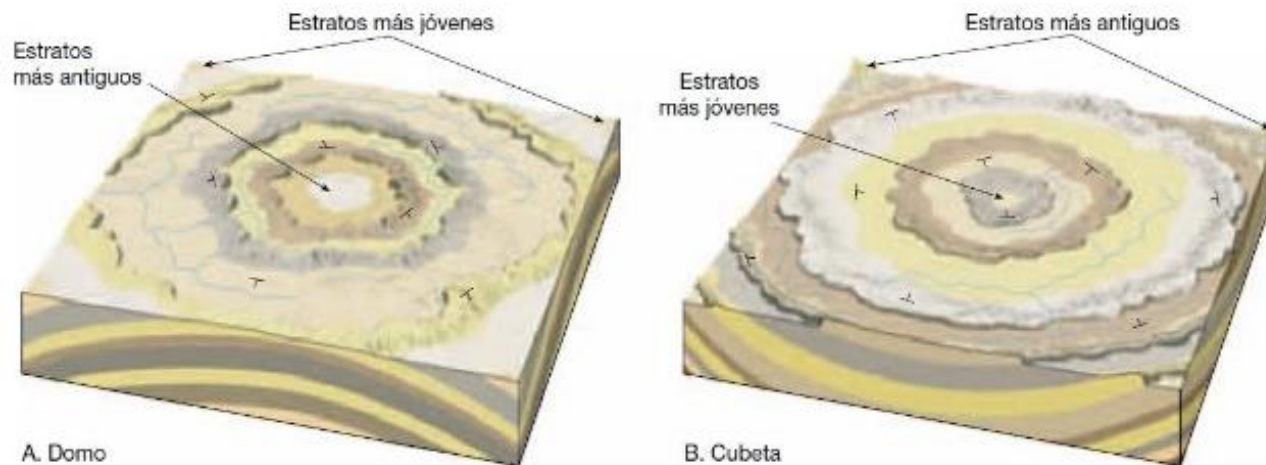
Pliegues

Deformación dúctil de las rocas por aplicación de esfuerzos

Partes de un pliegue:

- Flancos (o limbos)
- Cresta y seno
- Plano axial → **inclinación**
- Eje (o charnela) → **buzamiento**
- Ejemplo: Pliegue cóncavo y convexo

No hay PA ni eje definido

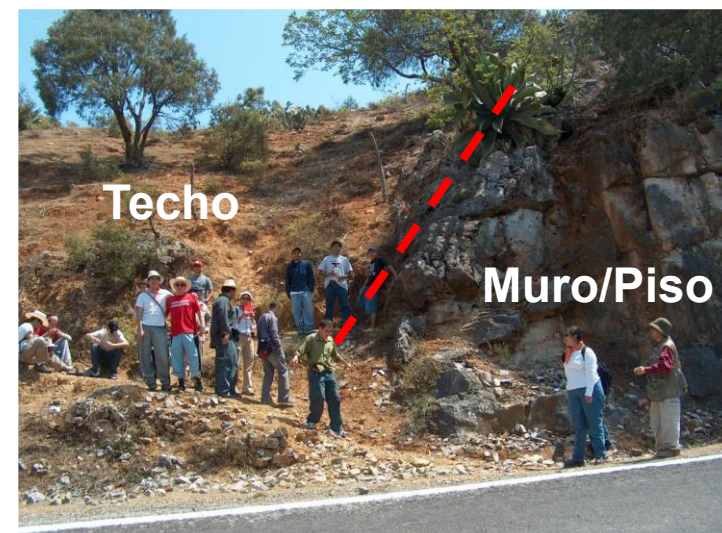


Fallas

Deformación frágil de las rocas por aplicación de esfuerzos

Características de una falla geológica:

- Fractura con desplazamiento (\neq diaclasa)
- Generada por esfuerzos tectónicos (\neq diaclasa)
- Material de falla (jaboncillo, brecha de falla)
- Pérdida de continuidad de los estratos
- Pueden ser activas o inactivas (pero con reactivación)
- Forman relieves y cuencas tectónicas.
- Mesoescala (km) y microescala (m-mm)



Regional



Local

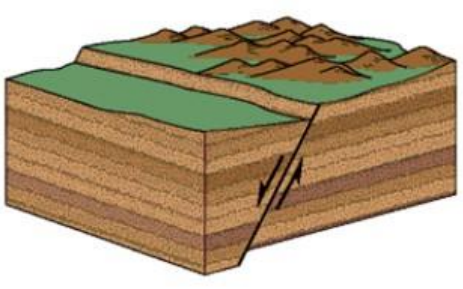
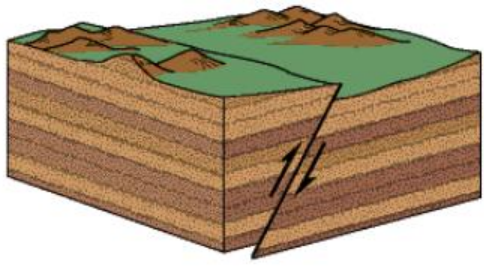
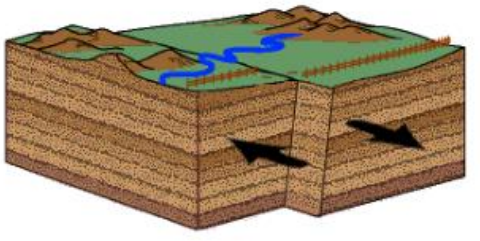


Puntual



Fallas

Deformación frágil de las rocas por aplicación de esfuerzos

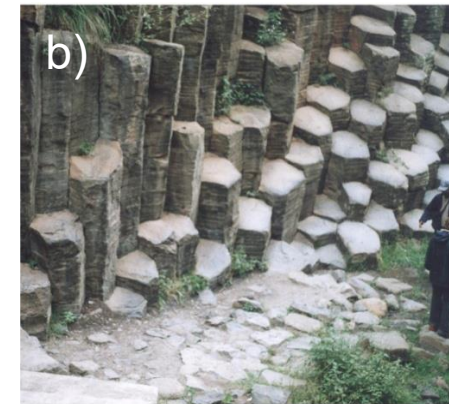
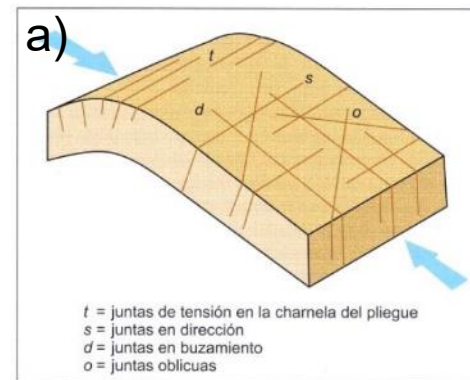
TIPO DE FALLA	NORMAL	INVERSA	TRANSCURRENTE (O DE RUMBO)
Esfuerzo dominante	Extensión	Compresión	Cizalla (esfuerzo horizontal)
Movimiento relativo	Vertical: El bloque de techo desciende respecto al de muro 	Vertical: El bloque de techo asciende respecto al de muro 	Horizontal: Los bloques se desplazan lateralmente (dextral o sinistral) 
Orientación del plano de falla	Ángulo alto (45° – 70°)	Ángulo bajo a medio (30° – 45°)	Vertical o sub-vertical ($\approx 90^{\circ}$)
Ambiente tectónico típico	Zonas de rift, dorsales oceánicas, regiones de extensión cortical (trasarco)	Zonas de subducción (arco, antearco), cinturones montañosos, regiones de compresión,	Zonas de transformación o desplazamiento lateral (bordes conservativos de placas)

Diaclasas

Deformación frágil de las rocas por aplicación de esfuerzos

Características de las diaclasas:

- Fractura sin movimiento (=abertura)
- Generadas por:
 - a) Plegamientos y fallas
 - b) Contracciones de un cuerpo ígneo
 - c) Descompresiones por reducción de esfuerzo litostático.
- Estos planos son lisos o rugosos y forman grupos (familias) de diaclasas \approx paralelas entre sí
- Microescala (m-mm): laderas o macizos rocosos \rightarrow controla la estabilidad del talud (peligro geológico), la permeabilidad y meteorización del macizo rocoso
- Define el **comportamiento mecánico del macizo rocoso**



- Geología estructural
- **Geomorfología**
- Hidrogeología

Geomorfología

- **Def. GEOMORFOLOGÍA:** Es el estudio de la formación del relieve terrestre, como resultado de la interacción de procesos endógenos y exógenos.
- **Def. AGENTES GEOMORFOLÓGICOS:** Es cualquier medio natural capaz de obtener y transportar material terrestre, es decir, el VIENTO, AGUA (ríos, subterráneas, corrientes marinas, mareas, oleaje) y HIELO (glaciares)
- **OBJETIVO:** Identificar las “geoformas” y analizar sus génesis, geometrías y extensión, con el fin de conocer la historia del ambiente y predecir la evolución del sistema → GENERACIÓN DE INFORMACIÓN Y CARTOGRAFÍA como LÍNEA BASE (p.e. estudios de impacto ambiental, ordenamiento territorial, uso del suelo, riesgos geológicos, aplicaciones geotécnicas, etc...)

Geomorfología

➤ **Def. PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS:** Son todos los cambios físicos y químicos que modifican la forma de la superficie terrestre.

Existen 3 tipos:

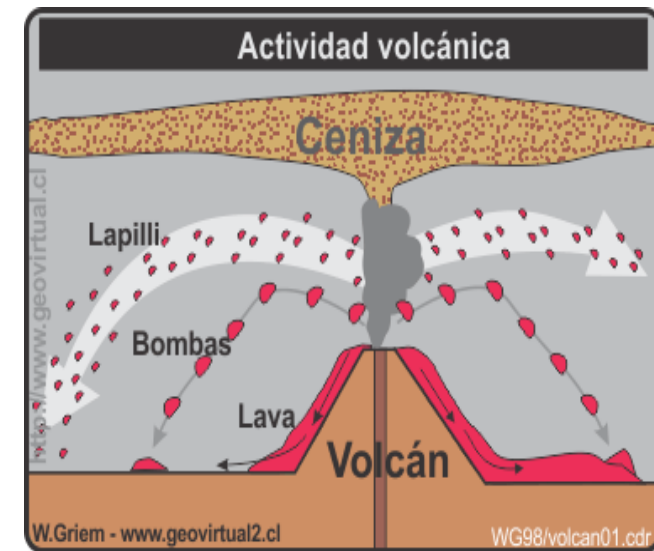
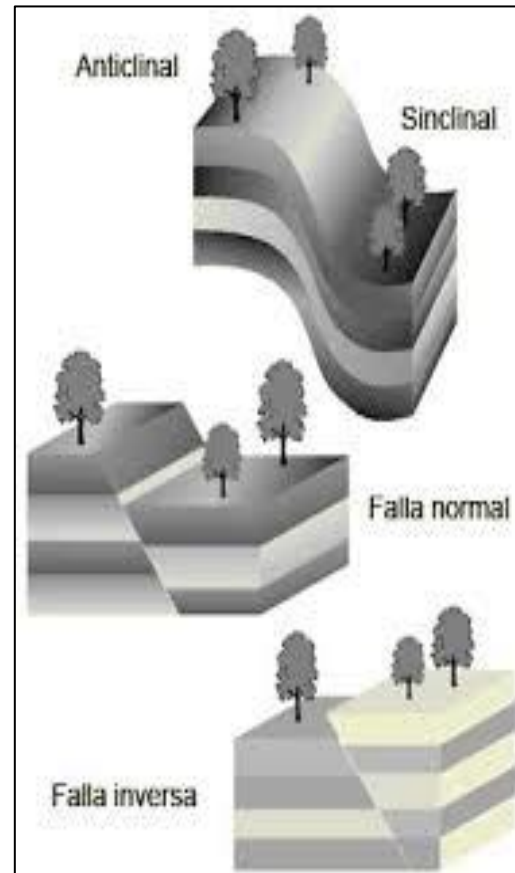
1) PROCESOS ENDÓGENOS:

a) Tectonismo (formación de montañas)

- Orogénico (c/ deformación)
- Epirogénico (s/ deformación)

b) Vulcanismo (extrusión de lava y piroclastos)

2) PROCESOS EXTRATERRESTRES (caída de meteoritos) → poco frecuentes...



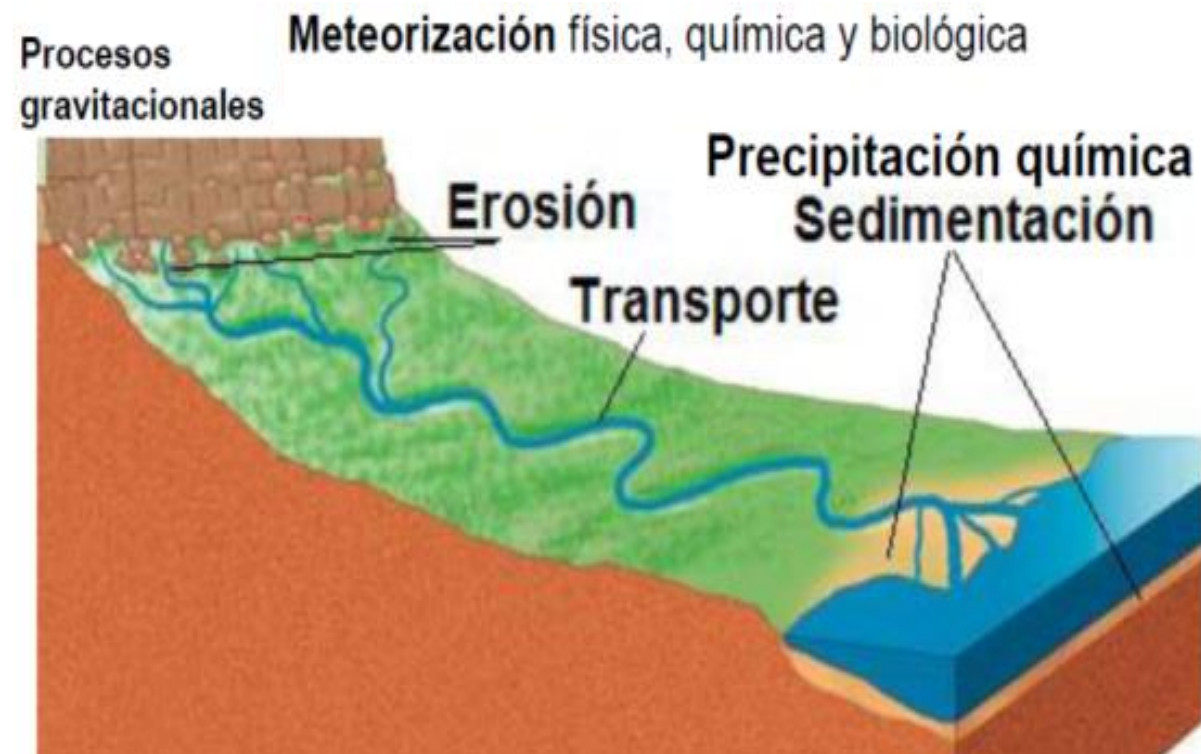
Geomorfología

- **Def. PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS:** Son todos los cambios físicos y químicos que modifican la forma de la superficie terrestre.

Existen 3 tipos:

3) PROCESOS EXÓGENOS:

- a) Por degradación
 - Meteorización
 - Erosión y transporte
 - Remoción en masa (desplazamiento por gravedad)
- b) Por agradación
 - Depositación (sedimentación o precipitación)
- c) Biológicos
 - Fauna y flora
 - Acción antrópica (humanos)



Geomorfología

➤ **Def. PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS:** Son todos los cambios físicos y químicos que modifican la forma de la superficie terrestre.

3) PROCESOS EXÓGENOS → Conceptos importantes!!

Meteorización: Desagregación y alteración de las rocas “in situ” → disponibilidad de material

Meteorización física: desintegración o desagregación (ej.: gelifracción, expansión y contracción térmicas, descompresión)

Meteorización química: alteración química de minerales (ej.: oxidación, disolución, hidrólisis)

Meteorización biológica: fracturación mecánica o alteración química por la actividad de seres vivos (ej.: acción radicular, ácidos secretados por líquenes, modificación antrópicas)

Erosión - es el retiro del material disponible por agente geomorfológico o gravedad para su posterior transporte → remoción del material

Transporte: Traslado del material por medio de agentes geomorfológicos hasta que pierde energía o cambian las condiciones → depositación del material

Procesos gravitacionales: Desplazamiento por energía potencial gravitatoria de un volumen del material disponible (roca, detrito o suelo) → depositación del material

Sistema fluvial

Procesos fluviales

1. EROSIÓN FLUVIAL

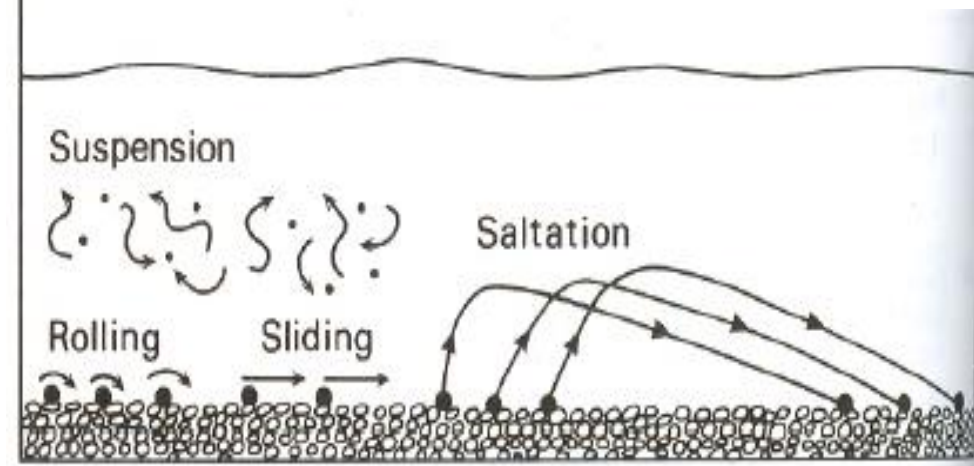
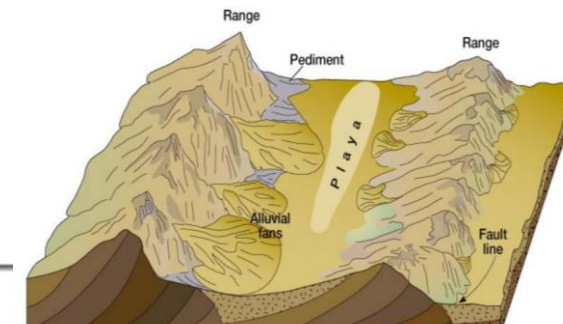
- Abrasión: desgaste por transporte
- Atricción: choque entre partículas
- Corrosión (oxidación, hidrólisis, disolución)
- Cavitación: cambios bruscos de presión

2. TRANSPORTE FLUVIAL

- Tracción (o carga de lecho): por rodadura o arrastre
- Saltación: salto de la partícula o por choque de otra
- Suspensión: por flujos turbulento y densos (arcillas y limos)
- Disolución: por iones

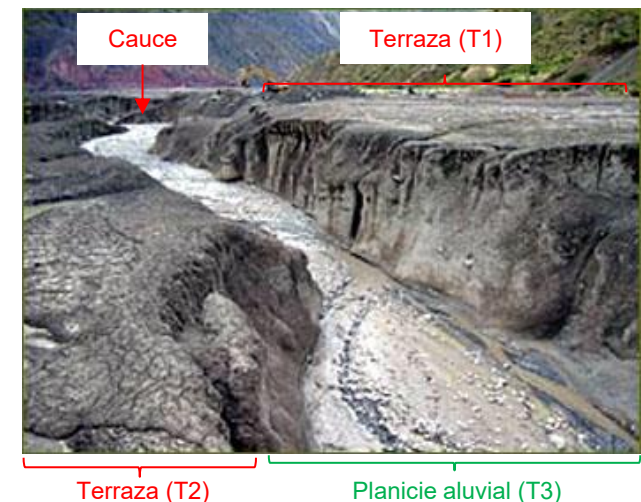
3. ACUMULACIÓN FLUVIAL

- Por pérdida de competencia (tamaño de partícula) y/o capacidad (cantidad de partículas)



Sistema fluvial

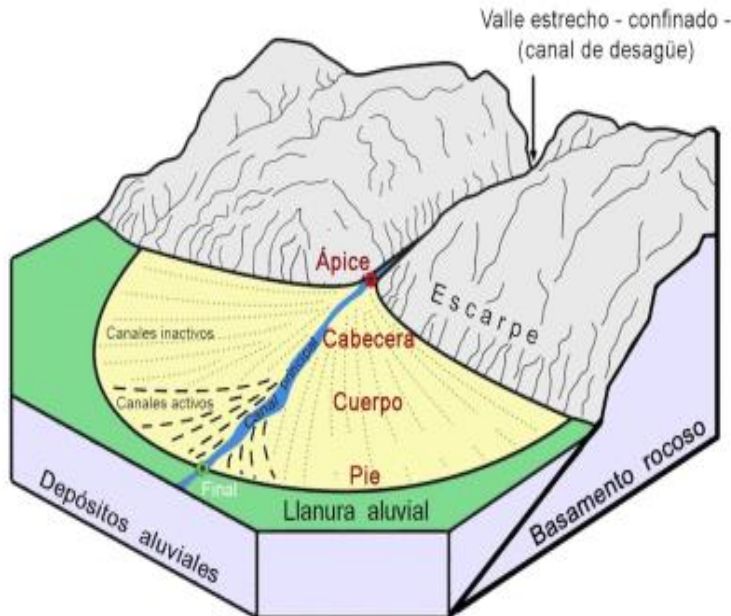
Geoformas de erosión y acumulación



Sistema fluvial

Geoformas de erosión y acumulación

Abanico aluvial:



Sistema eólico

Procesos fluviales

1. EROSIÓN EÓLICA

- Abrasión: desgaste por transporte
- Atricción: choque entre partículas
- Deflación: levantamiento y del material por el viento

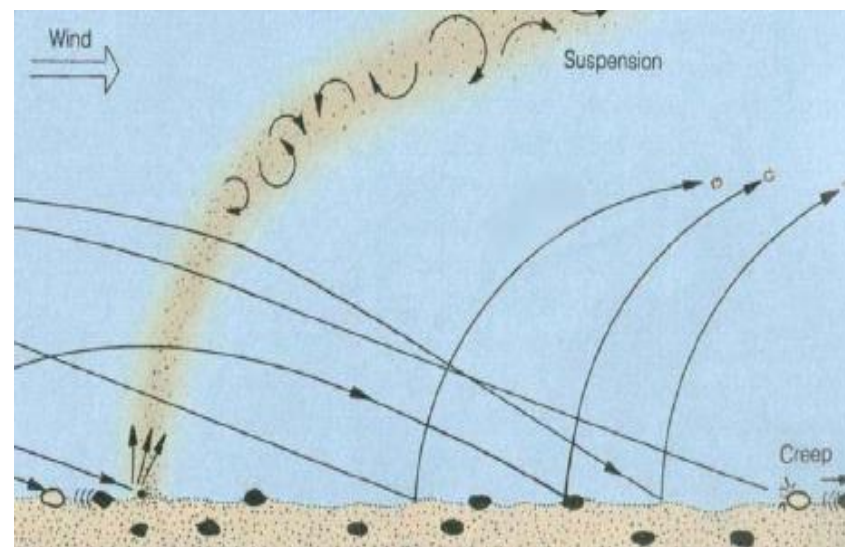
2. TRANSPORTE EÓLICO

- Reptaje: por choque de otros granos
- Saltación: salto de la partícula o por choque de otra
- Suspensión: por flujos turbulento (arcillas y limos)

3. ACUMULACIÓN EÓLICA que dependerá de:

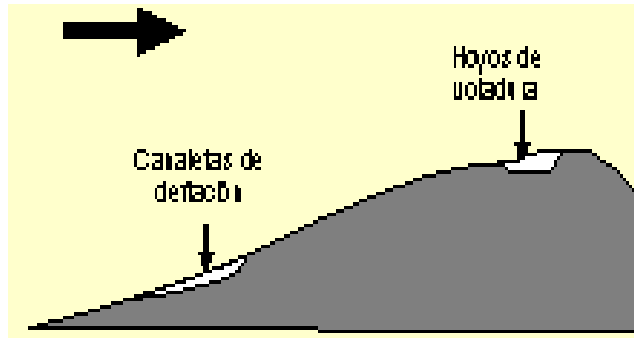
- Aporte de arena.
- Dirección e intensidad del viento.
- Presencia de vegetación
- Presencia de humedad
- Topografía favorable

Viento = agente geomorfológico más importante



Geomorfología eólica

Geoformas de erosión

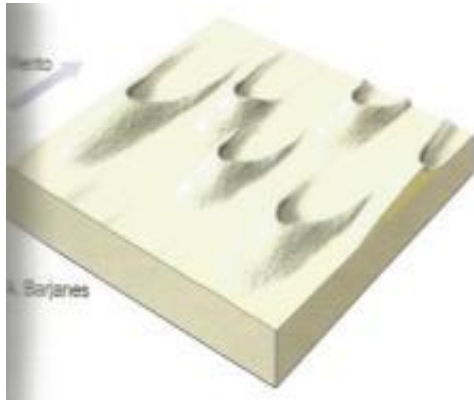


Geomorfología eólica

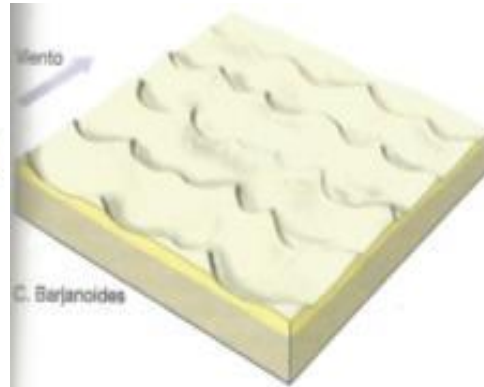
Geoformas de acumulación (dunas)

Evolución morfológica de dunas con vientos unidireccionales

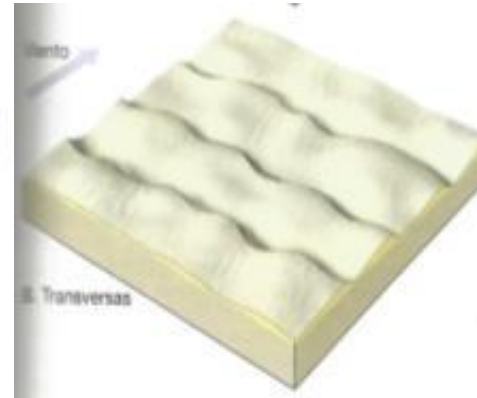
Barjanes



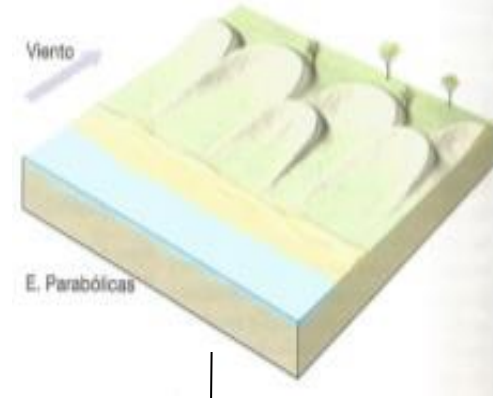
Barjanoides



Transversales

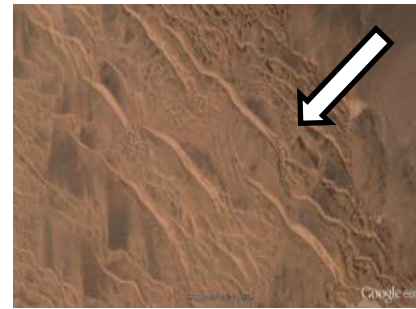
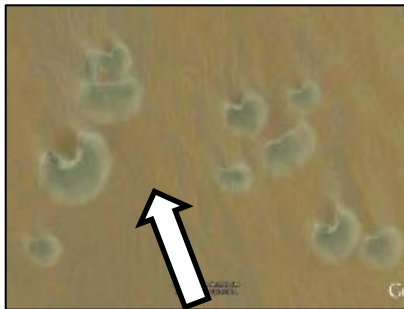


Parabólicas



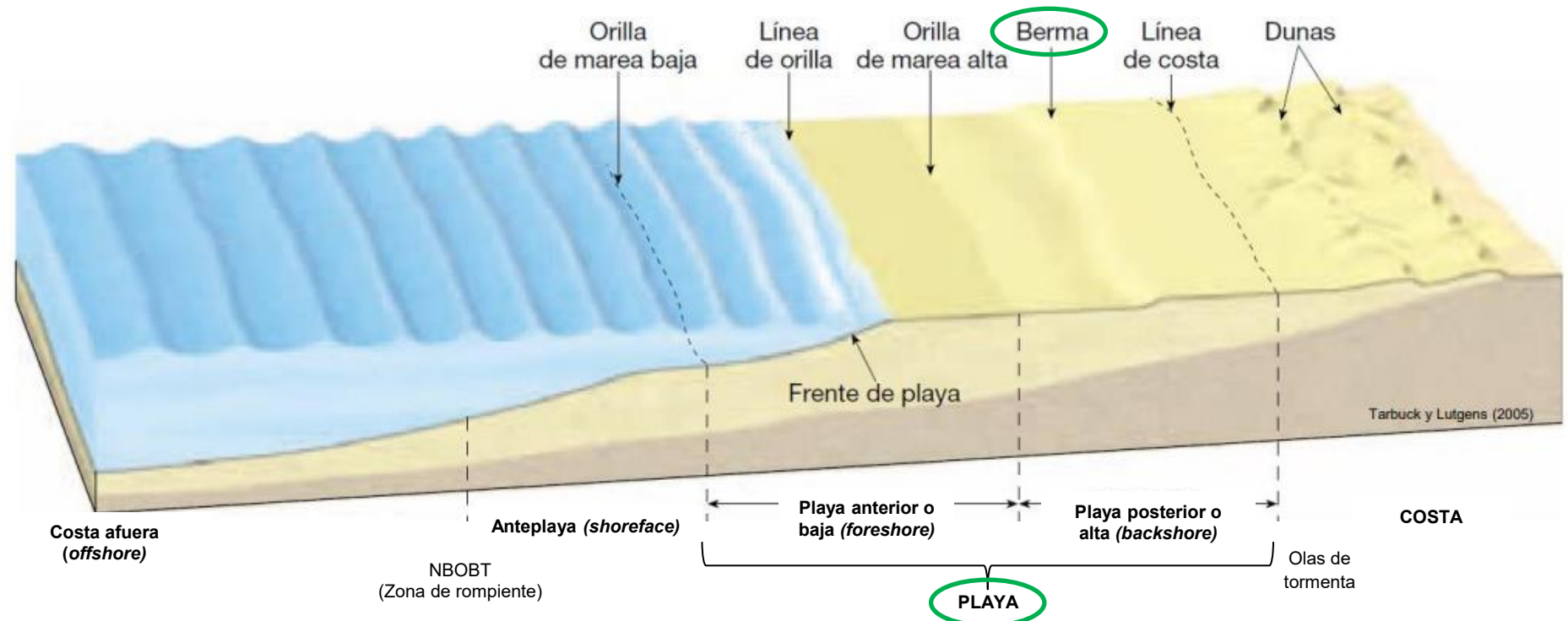
Aumento de disponibilidad de arena

Anclaje por
vegetación



Sistema litoral

Ambiente marino costero: procesos geomorfológicos vinculados principalmente a corrientes costeras, al oleaje y a las mareas



Playa: zona llana e irregular, formada por sedimentos acumulados por acción del oleaje. Compuesta por arena, grava, fragmentos de rocas, restos de organismos, bloques de roca en proceso de desagregación, entre otros.

Berma: elevación paralela a la línea de costa, ubicada de forma adyacente a dunas o acantilados. Puede haber más de una.

Geomorfología litoral

Geoformas de erosión

Acantilados



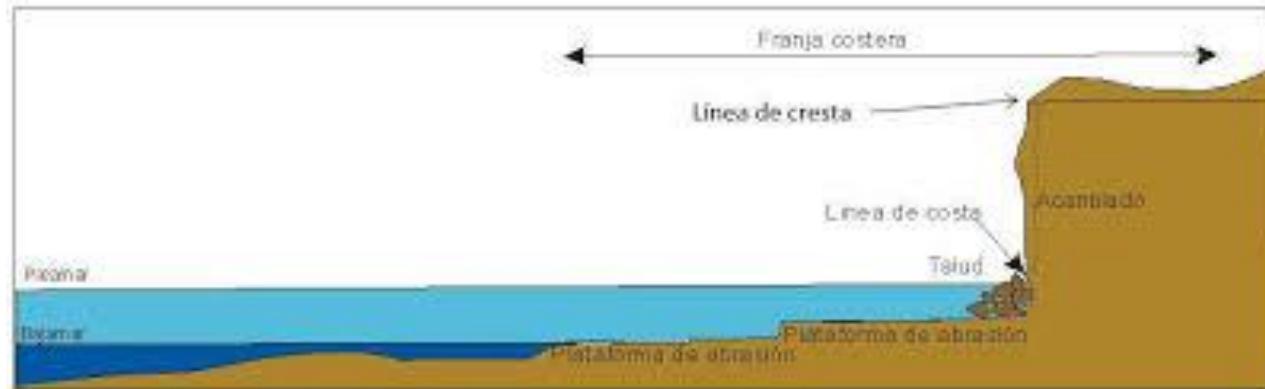
Plataformas de abrasión



Canaletas



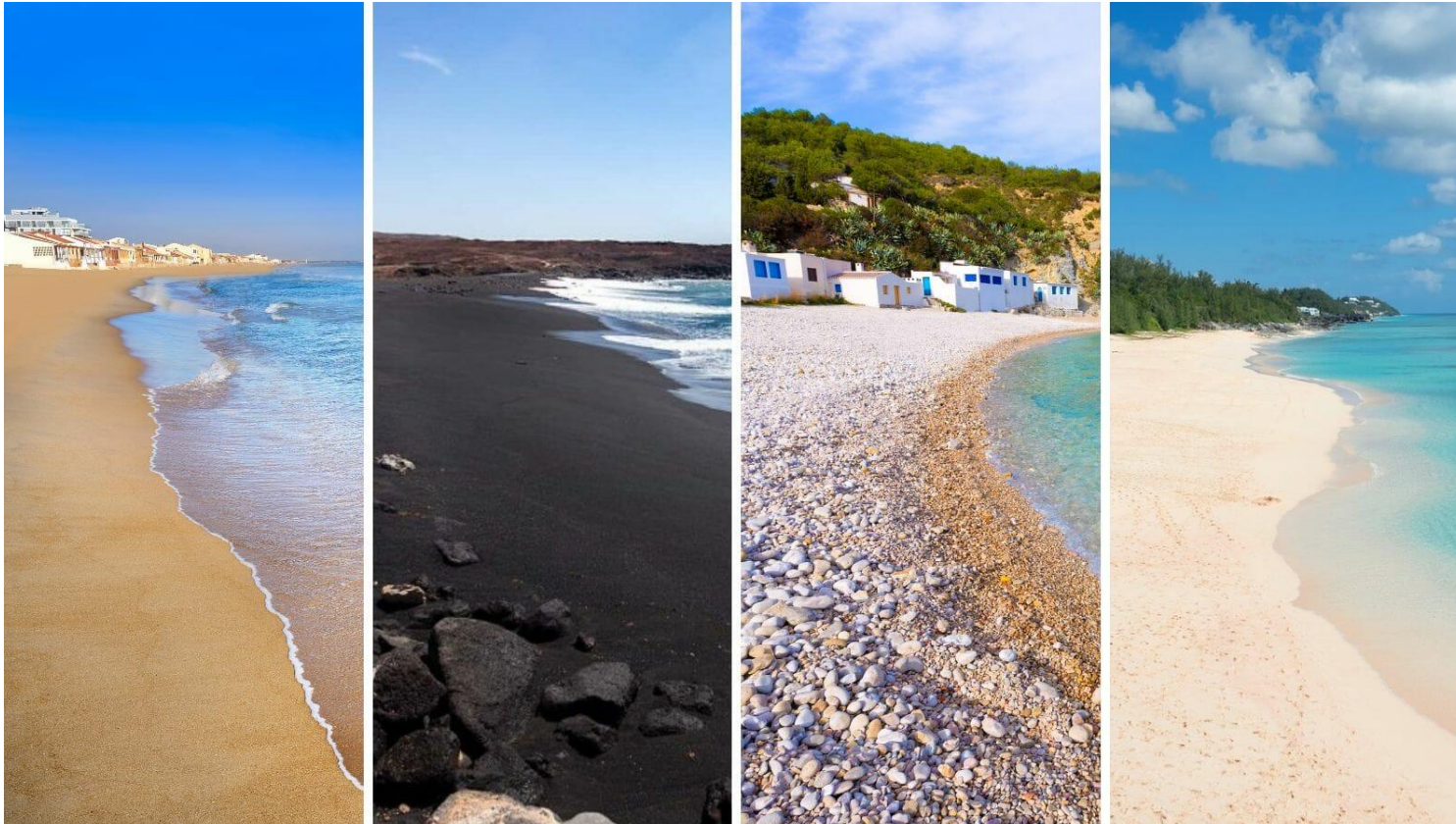
Hoyos de marmitas



Geomorfología litoral

Geoformas de acumulación

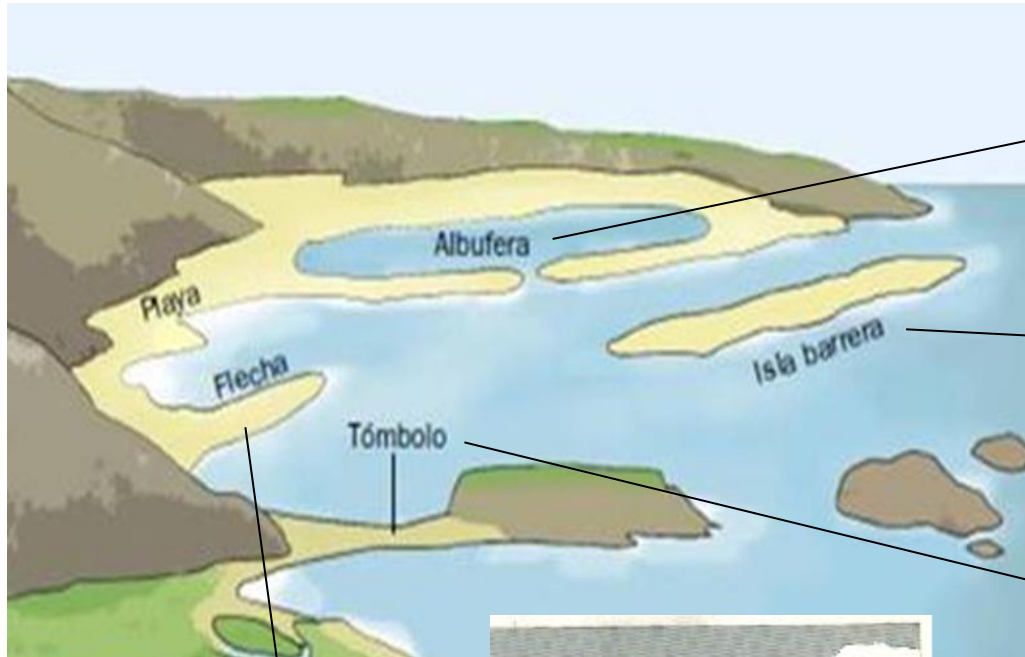
Playas



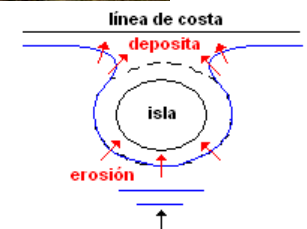
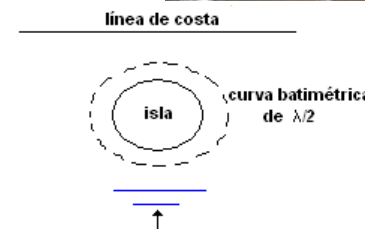
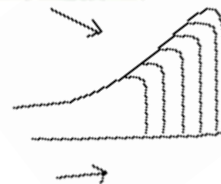
- Litología variada (área de aporte): silíceas, líticas, biosclástica-carbonáticas (conchillas)
- Tamaño de grano: arena a gravas (finos → aporte fluvial)

Geomorfología litoral

Geoformas de acumulación



Espiga (flecha)



Geomorfología kárstica

- Presente en **áreas calcáreas o dolomíticas** (rocas solubles)
- Resultado de la **disolución subterránea a través de fracturas** y de la desviación de las aguas superficiales hacia cauces subterráneos.
- También en **yeso y sal** (hipersolubles).



Puente del Inca (Mendoza)



El Carso (Eslovenia)



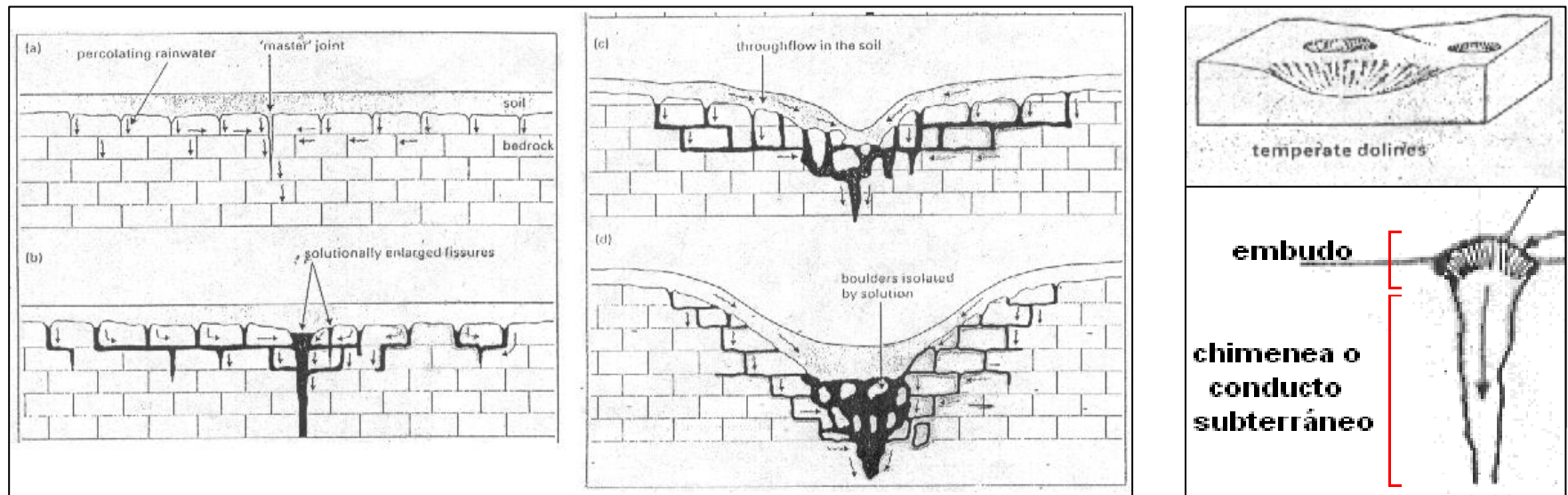
Cenote Santa Cruz (México)



North Yorkshire (Inglaterra)

Geomorfología kárstica

Dolinas (combinación de estructuras que permite y favorece la disolución)



El agua pasa gota a gota al conducto subterráneo

- Simas (vertical)
- Sumideros (oblicuo-horizontal)
- Depresión por desplome
- Pozos cársticos



El agua pasa directo al conducto subterráneo.



Desplome



Pozo cárstico

Geomorfología kárstica

Cavernas o “endokarst” (espacios subterráneos desarrollados por disolución, de disposición horizontal en general)

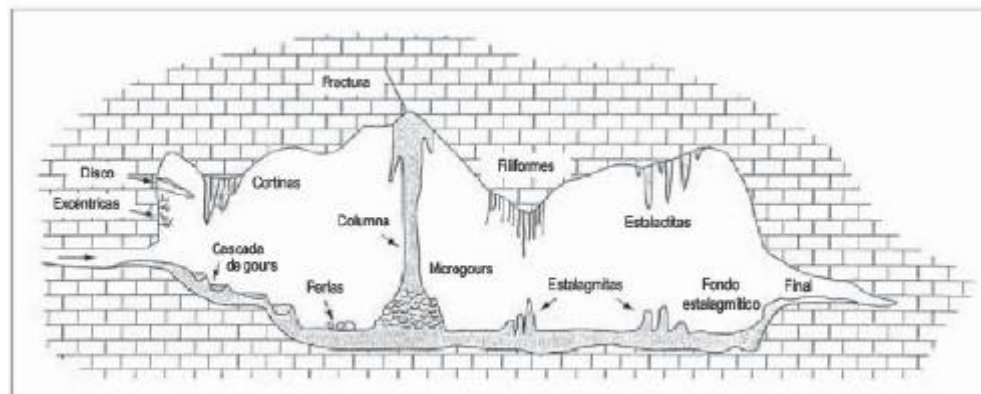
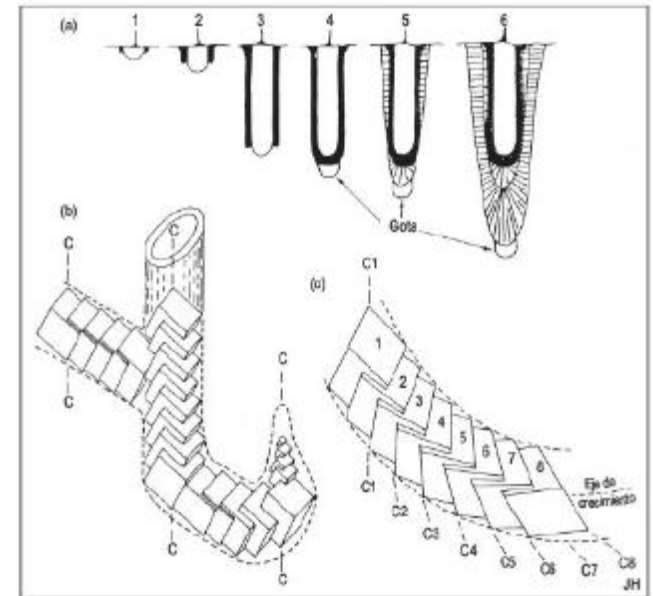


FIGURA 6.47 Esquema de las principales morfologías de depósitos calizos en una cavidad (Salomon, 2000).



Formación de estalactitas (precipitación)

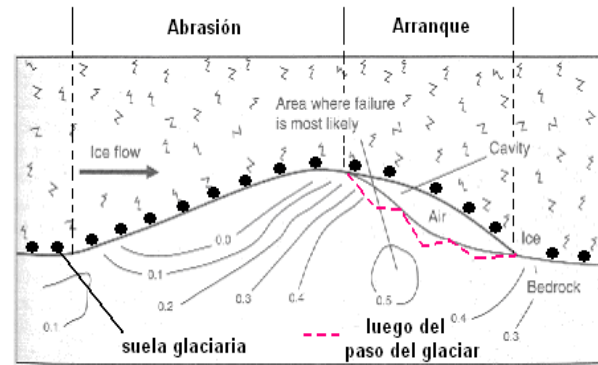
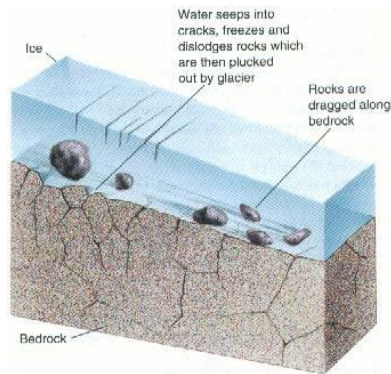
Formas de erosión, clásicas y de reconstrucción

Sistema glaciario

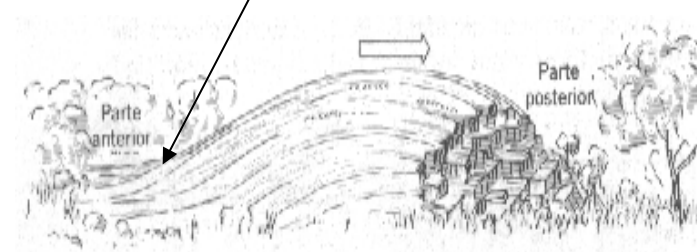
Glaciar: masa de hielo formada por compactación y recristalización de nieve, localizados en latitudes altas y/o en alturas elevadas

EROSIÓN GLACIAR

- Abrasión: desgaste por transporte entre partículas → “suela glaciaria” →
- Arranque: de grandes bloques, en seco o húmedo

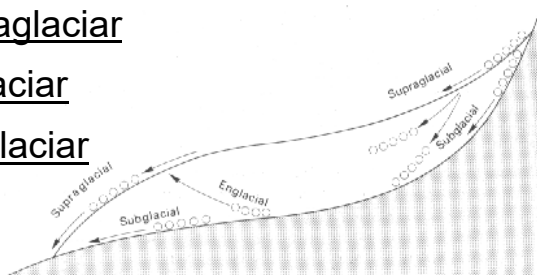


- Clastos de gravas: aparecen surcos y estrías
- Clastos de limos o arcillas: generan pulimentos.



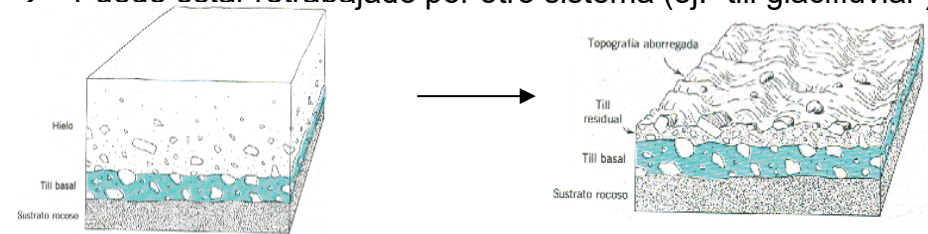
TRANSPORTE GLACIAR

- Supraglaciario
- Englaciario
- Subglaciario



Depósito sedimentario glaciario = “till”

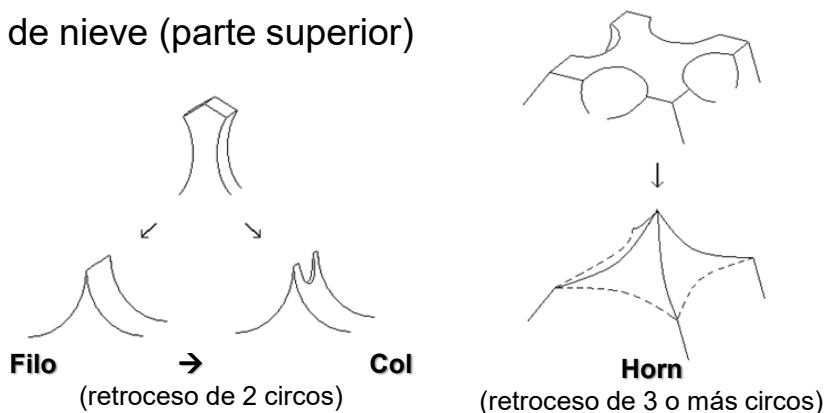
- Heterogeneidad granulométrica
- Sin estratificación
- Puede estar retrabajado por otro sistema (ej: “till glacioluvial”)



Geomorfología glaciaria

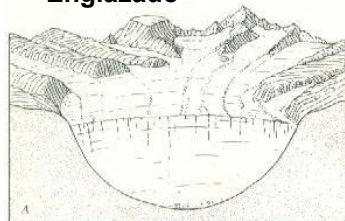
Geoformas de erosión

Circo: Cuenca receptora de nieve (parte superior)



Valle glaciario (artesa): Continuación de la lengua glaciaria que va erosionando el valle original (en forma de U).

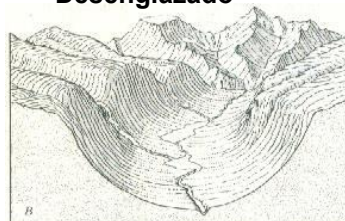
Englizado



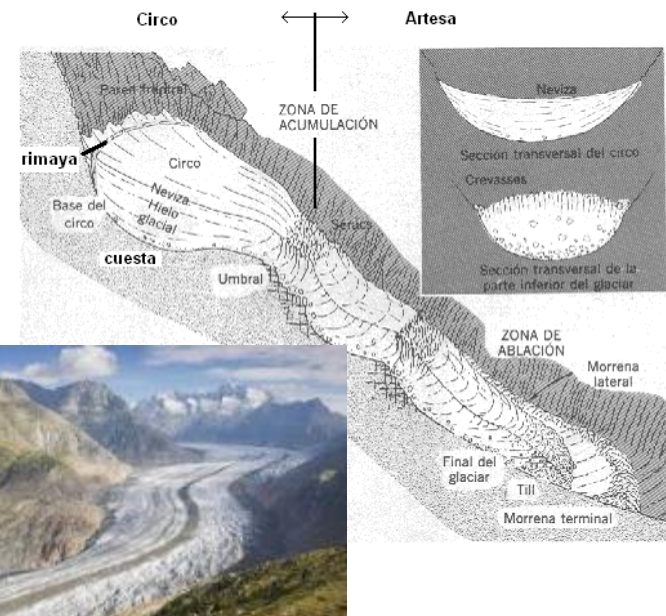
Agradado (sedimentos)



Desenglazado



Inundado (lago o mar)

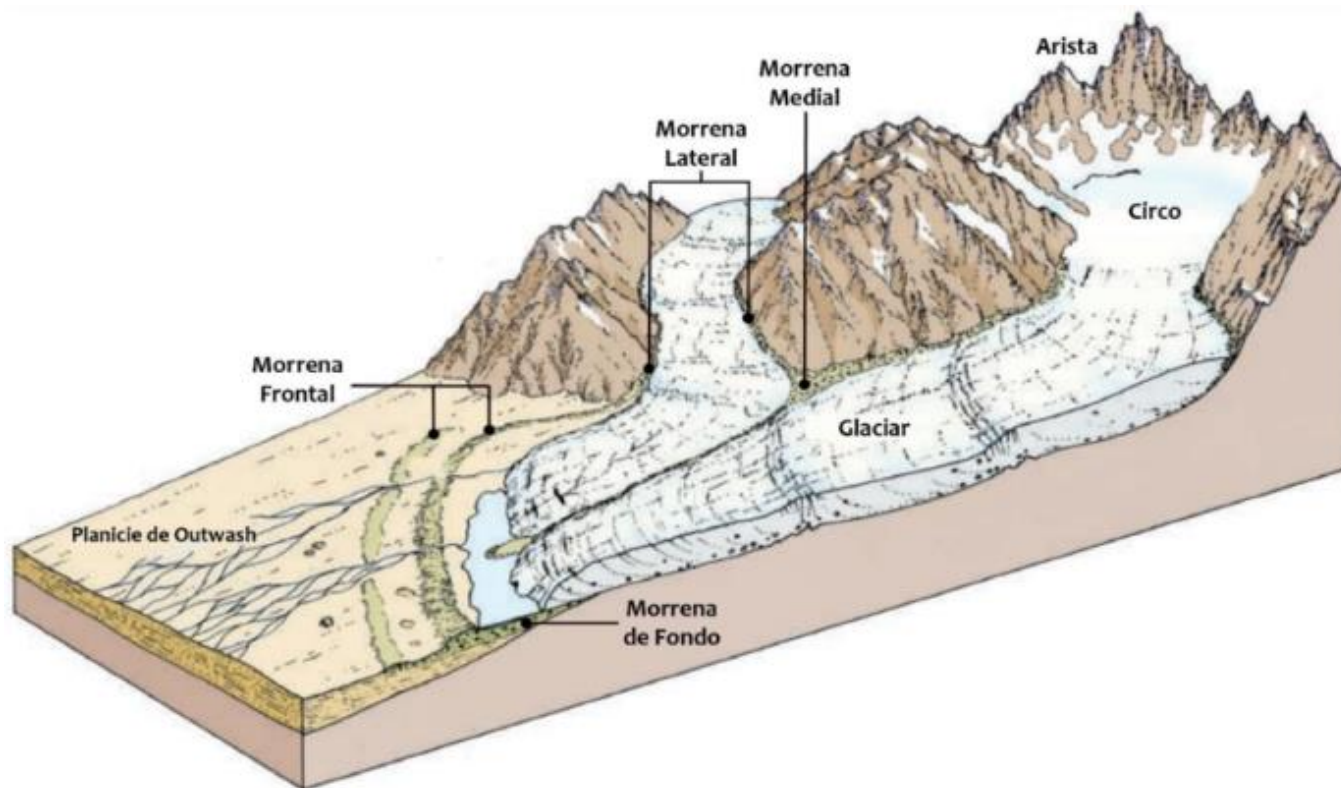


Geoformas de acumulación

Morrenas (de valle): Geoforma compuesta por “till” producida por el empuje, arrastre y depositación del glaciar en sus bordes o en su base.

Clasificación general (de acuerdo a la localización del depósito en relación con la geometría del glaciar):

- **Morrena marginal o lateral:** depósitos de los bordes laterales del valle.
- **Morrena interlobular:** cuando se unen dos glaciares y se juntan sus laterales (no siempre se preservan)
- **Morrena basal o de fondo:** capa de till suavemente ondulada, depositada conforme retrocede el frente de hielo.
- **Morrena terminal o frontal:** marca la máxima extensión del glaciar (no siempre se preservan)



Remoción en masa

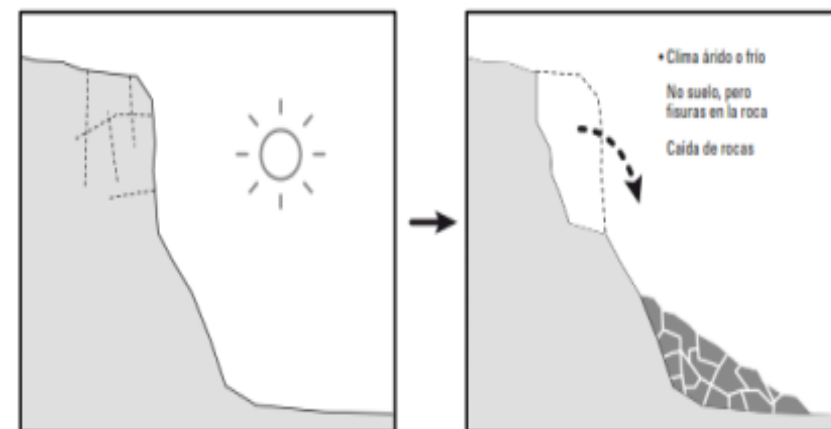
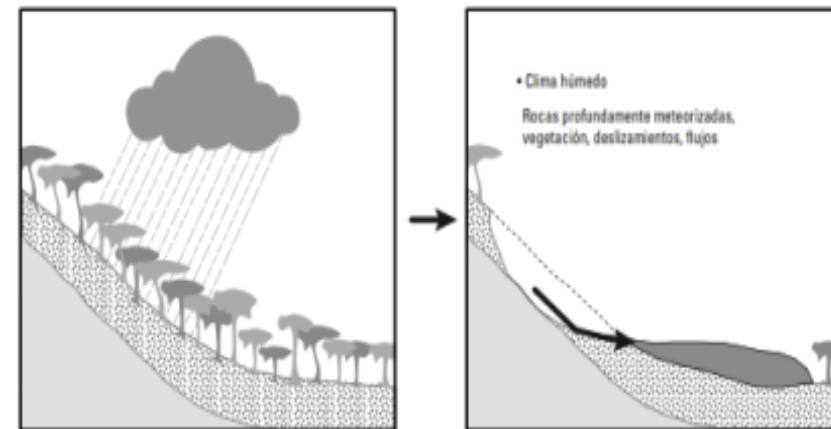
Son diversos **procesos gravitatorios** que se producen por el desplazamiento lento o rápido de un determinado volumen de **suelo, roca o detritos** cuesta abajo

➤ Factores Condicionantes









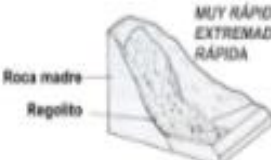





- GRAVEDAD: Inclinação de la pendiente (fuerzas tangenciales y normales) y diferencia de potencial (altura)
- AGUA: Presión de poros, carga por el propio peso, etc...
- MATERIALES TERRESTRES: Litología (rocas duras y blandas, tipo de arcillas, alteración, etc) y estructuras geológicas (fallas, diaclasas, inclinación, etc)

➤ Factores Desencadenantes

- METEORIZACIÓN/EROSIÓN: Inestabilidad de laderas, degradación del terreno, pérdida de cubierta vegetal
- VULCANISMO: carga por el propio peso (subsidiencias, procesos de remoción en masa), descongelamiento de la nieve/hielo
- TERREMOTOS: movimientos en el terreno, licuefacción de suelos, subsidiencias, procesos de remoción en masa y/o tsunamis
- ACCIÓN ANTRÓPICA: alteración del equilibrio natural por parte de la actividad humana

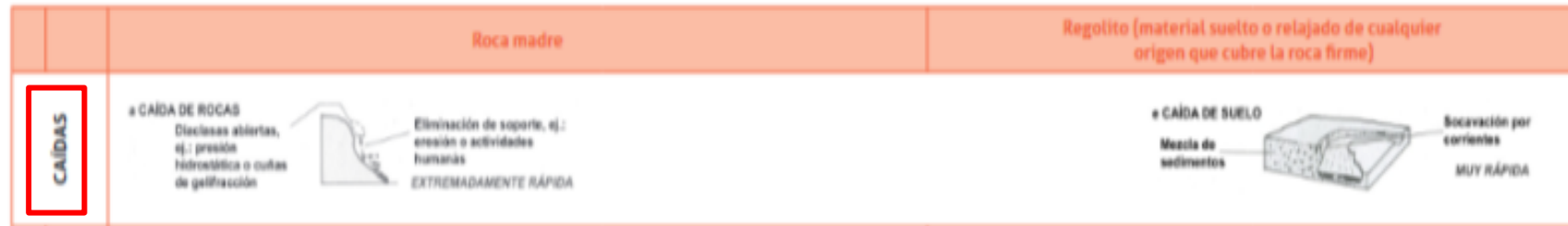


Remoción en masa

		Roca madre		Regolito (material suelto o relajado de cualquier origen que cubre la roca firme)		
DESPLAZAMIENTOS	Pequeñas deformaciones	a CAIDA DE ROCAS Dificultad aboritas, ej.: presión hidrostática o efectos de galfración  Eliminación de soporte, ej.: erosión o actividades humanas EXTREMADAMENTE RÁPIDA	e CAIDA DE SUELO Mezcla de sedimentos  Socavación por corrientes MUY RÁPIDA			
	Grandes deformaciones	b HUNDIMIENTO ROTACIONAL  EXTREMADAMENTE LENTA A RÁPIDA Superficie de ruptura	c DESLIZAMIENTO PLANAR DE BLOQUES  Falta a lo largo de discontinuidades MODERADA	 (i) Rotacional (ii) Planar (iii) Deslizamiento de detritos MUY RÁPIDA LENTA		
Materiales No Consolidados						
		Principalmente fragmentos grandes de roca	Arena o limo sorteados no plásticos	Mezclas de roca y suelo	Predominantemente plástico	
INCREMENTO EN EL CONTENIDO DE AGUA	Seco	g FLUJO DE FRAGMENTOS DE ROCA  EXTREMADAMENTE RÁPIDA	h CORRIMIENTO DE ARENA  Arena Limo firme Arena seca RÁPIDA A MUY RÁPIDA	k FLUJO LENTO DE TIERRAS  Roca lodosa meteorizada Roca lodosa	j AVALANCHA DE DETRITOS  MUY RÁPIDA A EXTREMADAMENTE RÁPIDA Roca madre Regolito	l FLUJO LENTO DE TIERRAS  Roca lodosa meteorizada Roca lodosa
	Húmedo	m FLUJO DE ARENA O LIMO  Arena RÁPIDA A MUY RÁPIDA	i FLUJO RÁPIDO DE TIERRAS  MUY RÁPIDA	n FLUJO DE DETRITOS  MUY RÁPIDA	TASA APROXIMADA DE MOVIMIENTO  10 ¹ 3 m/seg Extremadamente rápida 10 ⁰ 1 Muy rápida 10 ⁻¹ 0.3 m/min Rápida 10 ⁻² 1.5 m/día Moderada rápida 10 ⁻³ 1.5 m/mes Muy lenta 10 ⁻⁴ 1.5 m/año Extremadamente lenta 10 ⁻⁵ 0.3 m/5 años	

Clasificación de Varnes (1978): por el tipo de movimiento y el tipo de material

Remoción en masa



- **Caídas de rocas – *rockfalls*:** Desprendimiento de una masa de rocas (también de detritos o suelos) en un talud abrupto; si este es sub-vertical, el descenso es por caída libre, si es menor la pendiente las rocas saltan, y si es menos de 45° se movilizan rodando.
- **Vuelcos – *toppling*:** Rotación hacia adelante de la ladera de una masa vertical de roca o suelo, en torno a un punto o eje por debajo del centro de gravedad. Rocas más altas que anchas (por diaclasas)



Vuelco por flexión



Desplome



Remoción en masa



- **Deslizamiento traslacional:** El movimiento se produce sobre una superficie de ruptura plana que inclina con la misma dirección que la ladera y que está controlado por la estructura de la roca.

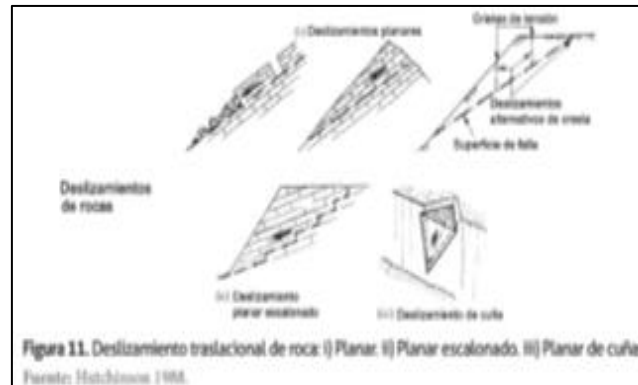
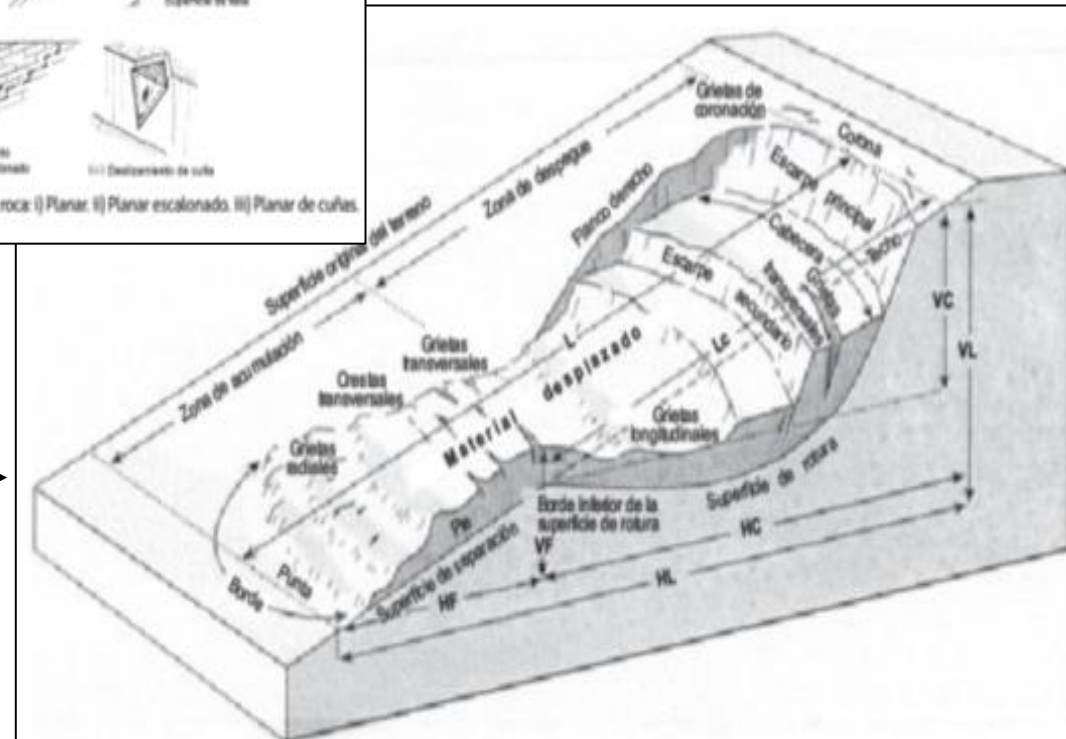


Figura 11. Deslizamiento traslacional de roca: i) Planar; ii) Planar escalonado; iii) Planar de cuñas. Fuente: Hochbühner, 1988.

- **Deslizamiento rotacional (slumps):** El movimiento se produce sobre una superficie de rotura curvada y cóncava y la falla no está controlada estructuralmente. Se suele dar cuando en la parte superior de la ladera existen bancos horizontales más resistentes (duros y densos) que el material subyacente.



Remoción en masa

- **Flujos de detritos (debris flow):**
Sedimentos gruesos con matriz de partículas finas, con contenido de agua y aire, movilizadas sobre cauces previos como un fluido viscoso.

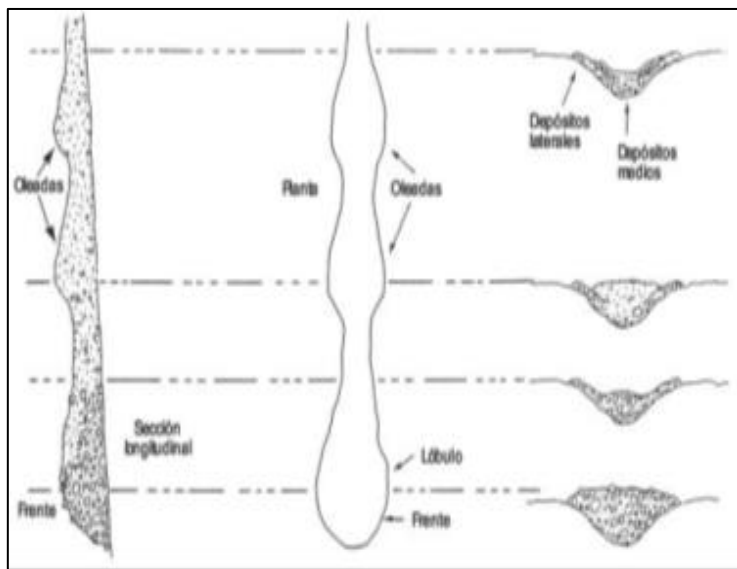
Se mueven por pulsos (oleadas), que pueden ir rompiendo el frente o cabeza anterior.

Rápidos, grandes distancias y erosivos.

En volcanes, son “lahares”.



Fuente: Traducido de Bell 1993, 62.

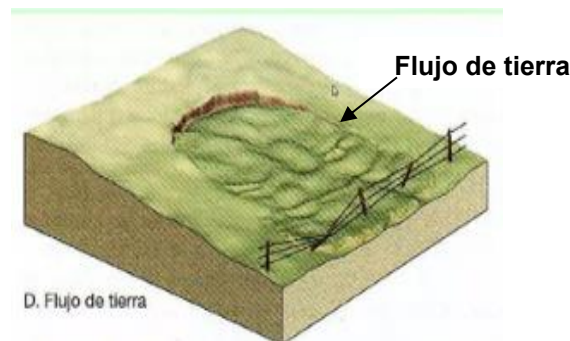


Remoción en masa



Fuente: Traducido de Bell 1993, 62.

- **Flujos de arena o limo (mudflows):** Arenas o limos con arcillas (>50% finos) saturados en agua con movimiento fluido.
- **Flujos de tierras (soilflows - earthflows):** Materiales con alta plasticidad (suelos muy arcillosos por fuerte meteorización). Zona de arranque similar a deslizamiento rotacional.
- **Avalanchas de roca:** Movimiento seco y muy rápido de grandes volúmenes de rocas.
- **Avalanchas de detritos:** Similar al de roca, con más presencia de agua



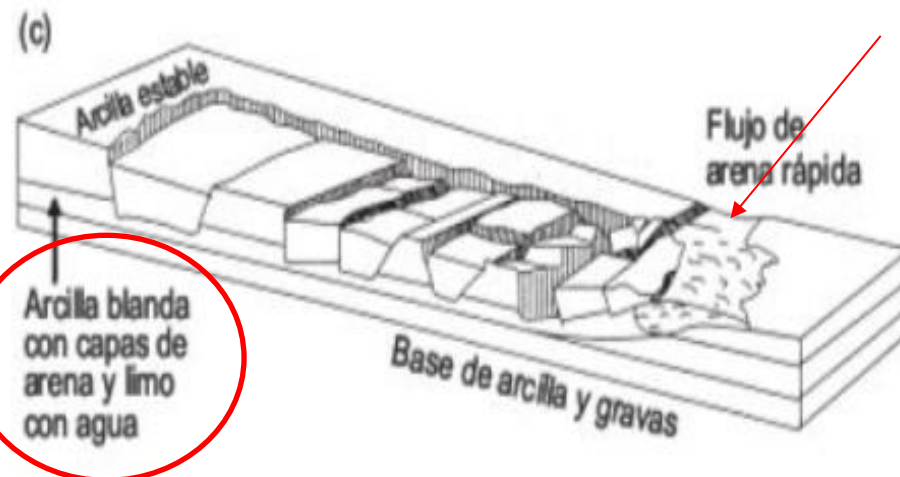
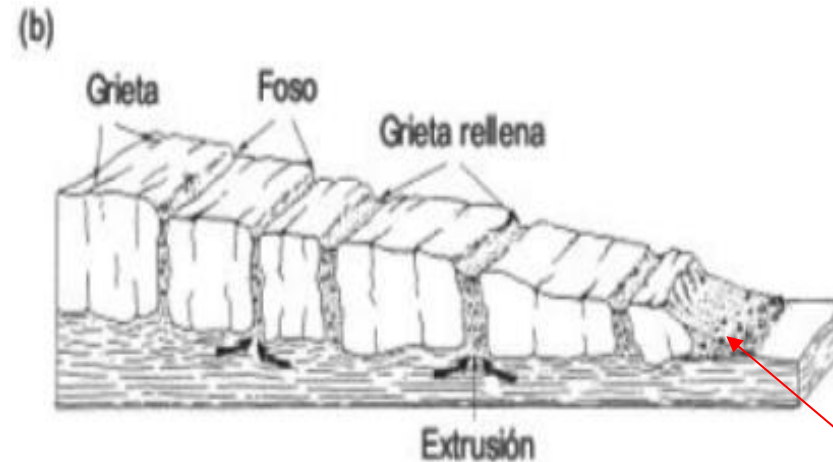
Remoción en masa

○ Expansiones laterales

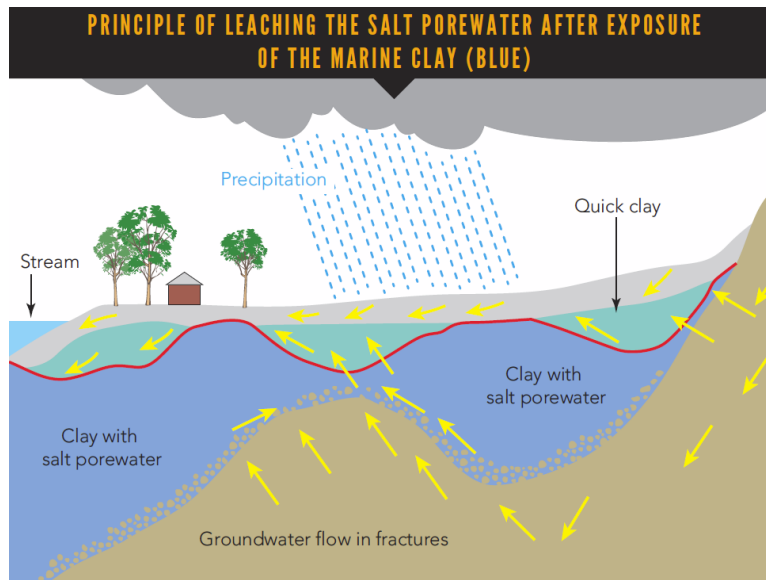
Movimientos progradantes movilizados por una capa inferior con comportamiento plástico que moviliza la capa superior.

Movimientos lentos.

En suelos → Arcillas rápidas o «quick clays» (origen marino)



Cresta de presión



Índice

- Geología estructural
- Geomorfología
- Hidrogeología

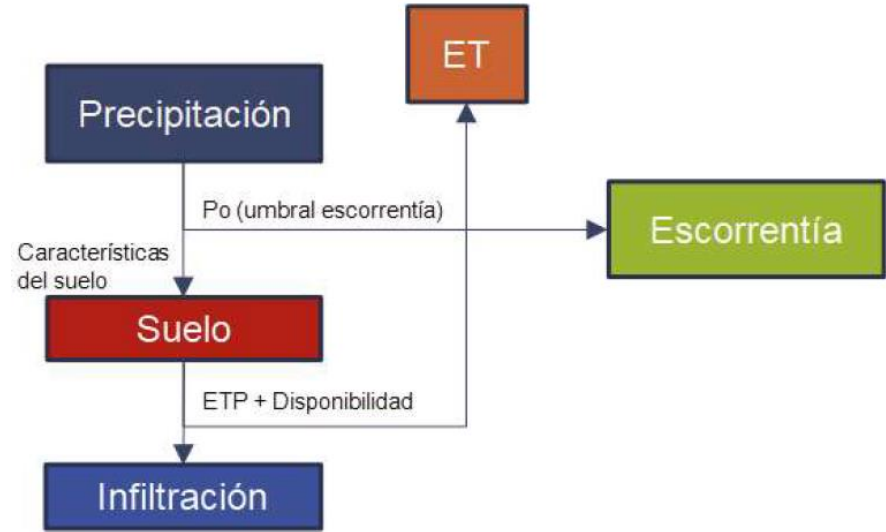
Hidrogeología

Balance hídrico

Clima:

Húmedo (exceso hídrico) $P > ETP$

Seco (déficit hídrico) $P < ETP$



$$\text{ENTRADAS} - \text{SALIDAS} \pm \text{ALMACENAMIENTO} = 0$$

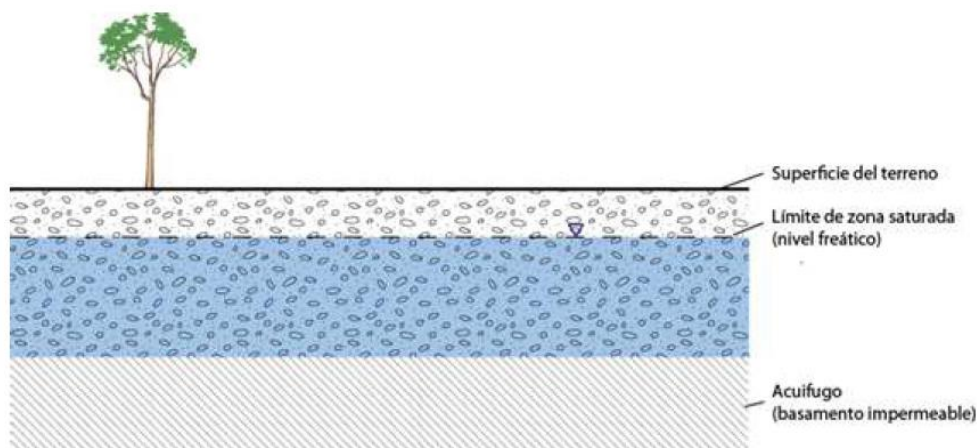
$$P - ETP - I - E_s \pm A = 0$$



Hidrogeología

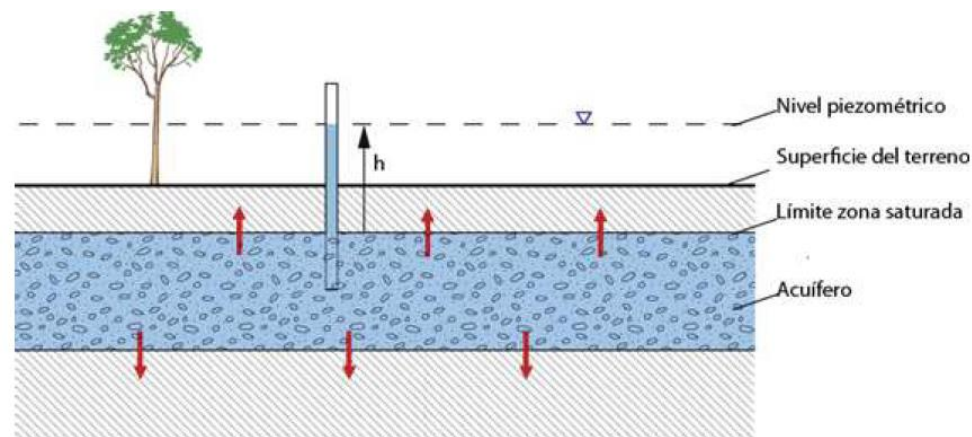
Acuíferos

Acuífero libre

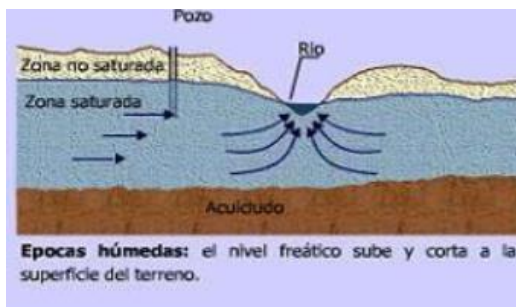


Nivel freático = nivel piezométrico a presión atmosférica

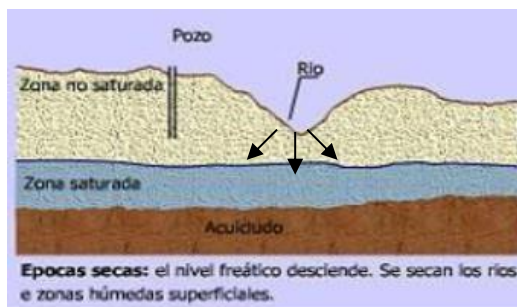
Acuífero confinado o semiconfinado



Nivel piezométrico = presión en el techo del acuífero confinado (estrato impermeable) o semiconfinado (acuitardo)



Rio ganador o efluente



Rio perdedor o influente

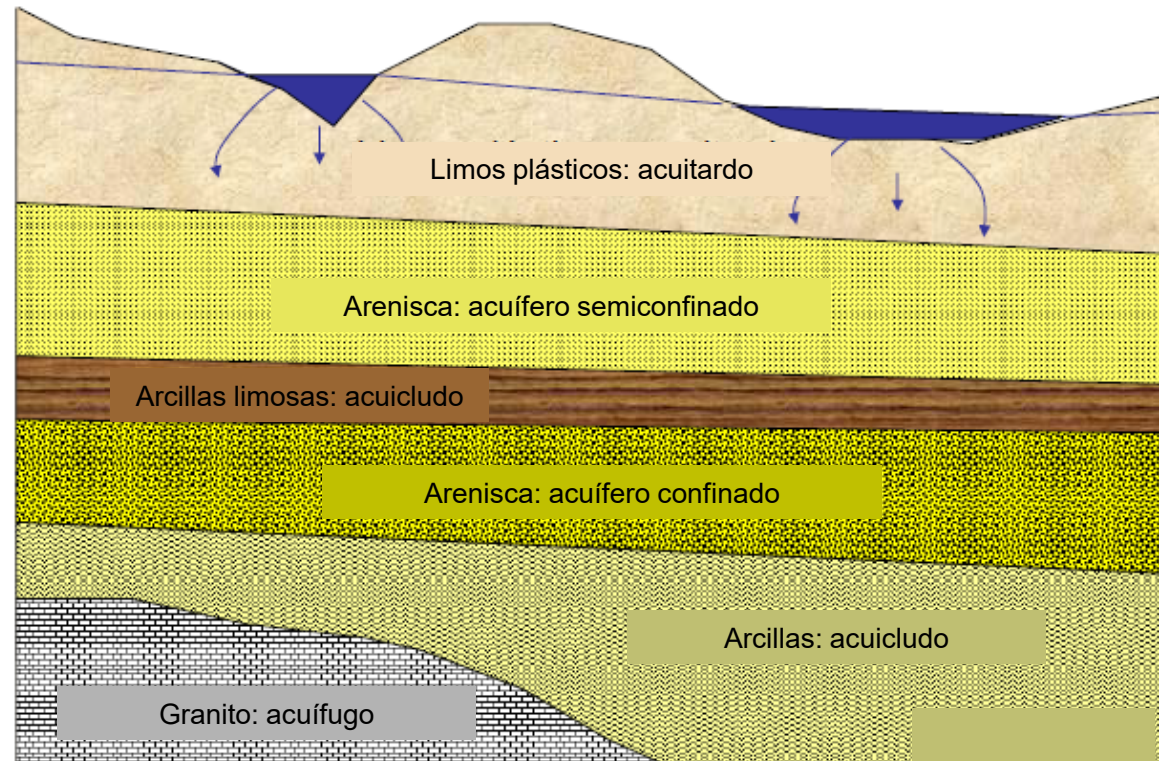


Pozos artesianos

Hidrogeología

Clasificaciones de unidades hidrogeológicas

- **Acuífero:** almacenamiento y transmisión del agua por poros o por grietas = explotación fácil y económica (ej: arenas, gravas, rocas muy fracturadas)
- **Acuitardo:** almacena agua pero la transmite con mucha dificultad (baja permeabilidad) = No explotación directa pero puede recargar a los acuíferos (ej: arenas limosas, arenas arcillosas, limos, rocas poco fracturadas)
- **Acuicludo:** almacena agua pero no la transmite = no es posible su explotación ni recarga a otros acuíferos (ej: arcillas, arcillas limosas)
- **Acuífugo:** no almacena agua ni la transmite (rocas muy compactas)



Hidrogeología

Clasificaciones de unidades hidrogeológicas

- Permeabilidad de UNIDADES GEOLÓGICAS = Medio físico donde se mueve el agua.

-
- Estructural (geometría)
 - Litológico (materiales)
 - Textural (características)

Material	Clasificación hidrogeológica	
	Acuífero	Permeabilidad
Gravas limpias y bolos	Detrítico	Muy alta permeabilidad
Gravas y arenas		Alta permeabilidad
Gravas, arenas y limos		Media permeabilidad
Arenas y limos		Baja permeabilidad
Limos		Muy baja permeabilidad
Arcilla	Impermeable	
Roca consolidada muy fracturada	Fisurado	Alta-media permeabilidad
Roca consolidada fracturada		Media permeabilidad
Roca consolidada poco fracturada		Baja-muy baja permeabilidad
Roca consolidada sin fracturas	Impermeable	
Carbonatos (calizas, dolomías) muy karstificados	Kárstico	Muy alta permeabilidad
Carbonatos karstificados		Alta permeabilidad
Carbonatos poco karstificados		Media permeabilidad

Rango	10^{-7} - 10^{-4}	10^{-4} - $0,01$	$0,01$ - 1	1 - 100	100 - 10^5
Calificación	Impermeable	Poco Permeable	Algo permeable	Permeable	Muy permeable
Calificación de la formación	Acuicludo	Acuitardo	Acuífero pobre	Acuífero regular a bueno	Acuífero excelente
Ejemplo de materiales	Arcilla compacta Pizarra Granito	Limo arenoso Limo Arcilla limosa	Arena fina Arena limosa Caliza fracturada	Arena limpia Grava y arena Arena fina	Grava limpia

Porosidad: entre el 0,1 % y el 40 %, (unas 400 veces).

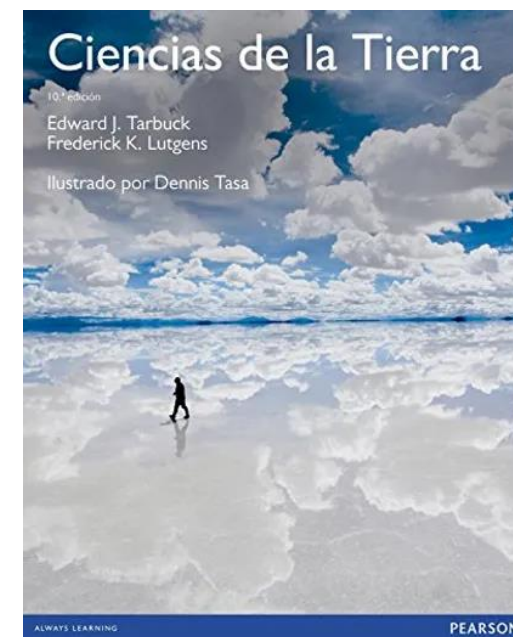
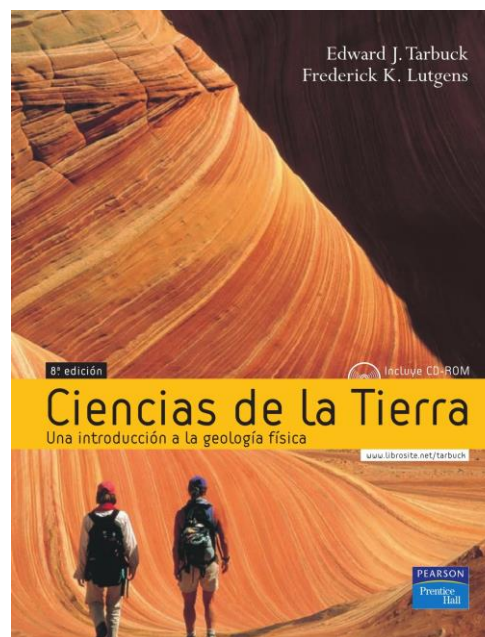
Permeabilidad: entre 10^{-4} o 10^{-5} , como valores más pequeños y 10^4 y 10^5 , como valores más altos (metros por día).

Bibliografía de consulta

Lectura obligatoria

Tarbuck–Lutgens

- Cap 1 – Estructura interna
- Cap 2 – Tectónica de placas
- Cap 3 – Minerales
- Cap 4 – Magmas y rocas ígneas
- Cap 6 – Meteorización
- Cap 7 – Rocas sedimentarias
- Cap 8 – Rocas metamórficas
- Cap 10 – Geología estructural
- Cap 16 – Aguas superficiales (geomorfología)
- Cap 17 – Aguas subterráneas (hidrogeología)
- Cap 18 – Glaciares (geomorfología)
- Cap 19 – Desiertos y vientos (geomorfología)
- Cap 20 – Líneas de costa (geomorfología)



Consultas/Contacto:

ccocchiarale@fi.uba.ar

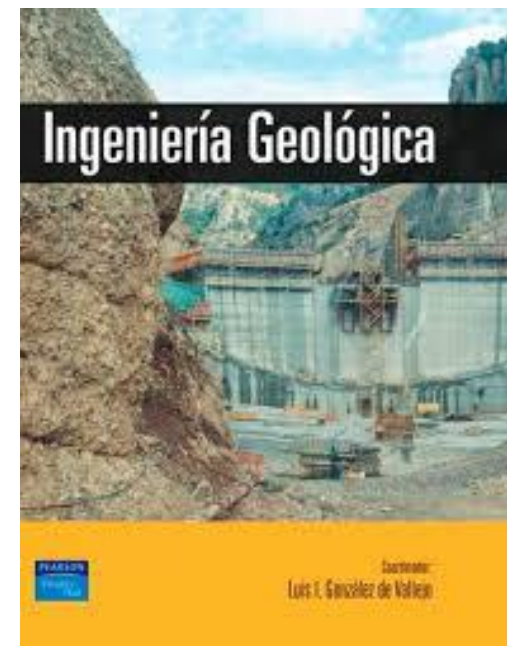
ccocchiarale@gmail.com

Bibliografía de consulta

Lectura complementaria

González de Vallejo

- Cap 2.8 – Características geotécnicas de los sedimentos
- Cap 3.2 – Propiedades físicas y mecánicas de los materiales rocosos
- Cap 5.1/2/3 – Hidrogeología
- Cap 9.3/4 – Taludes
- Cap 14.2 – Deslizamientos y otros movimientos



Consultas/Contacto:

ccocchiarale@fi.uba.ar

ccocchiarale@gmail.com