

Macizos rocosos (I)



Mecánica de rocas

- ✓ Comportamiento mecánico de rocas y macizos rocosos (MR).
- ✓ **Respuesta de los macizos rocosos ante los campos de esfuerzos** → **Deformación**, se manifiesta en todas las escalas ↔ geología estructural.
- ✓ Interés: estimar y predecir el comportamiento mecánico de un MR → ciclo de vida de una obra.
- ✓ Obra de ingeniería → modificación de condiciones naturales:
 - Campos de esfuerzos → Fracturación o deformación del MR.
 - Morfología del terreno → prever que ocurrirá con la estructura y su entorno ante la acción de procesos geológicos.

Geología estructural

- Análisis del esfuerzo y la deformación en la corteza terrestre.
- Respuesta de las rocas frente al esfuerzo: deformación.
- Acción de procesos endógenos: movimiento de placas tectónicas, vulcanismo, sismos.

Variables que controlan la deformación:

- Tipo y magnitud de esfuerzos.
- Tipo de roca.
- Temperatura.
- Presión de confinamiento.
- Tiempo de aplicación de esfuerzos.
- Presencia y presión de fluidos.
- Anisotropías preexistentes.

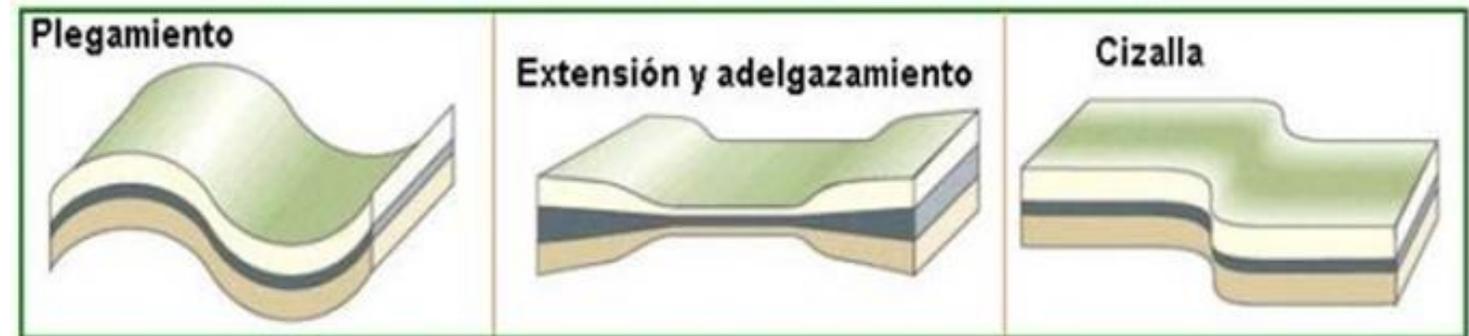
Esfuerzos diferenciales

Compresión:
engrosamiento de
CT.

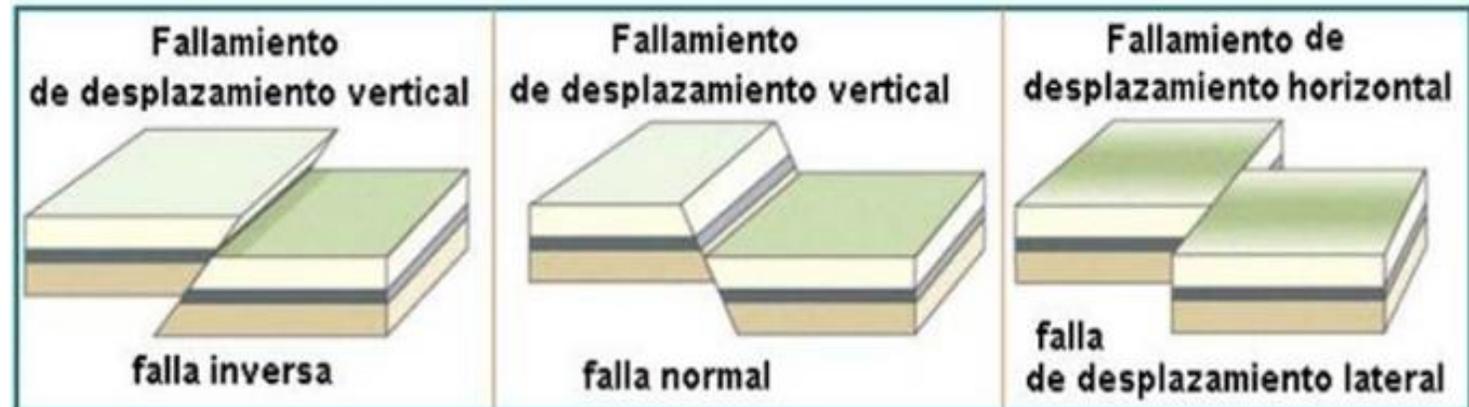


Estructuras resultantes de cada tipo de esfuerzos

Extensión/Tracción:
alargamiento o
separación.
Adelgazamiento de CT.



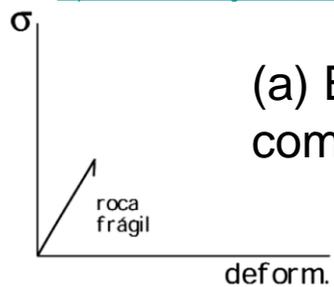
Cizalla: desplazamiento
o ruptura a lo largo de
planos.



Tipo de roca

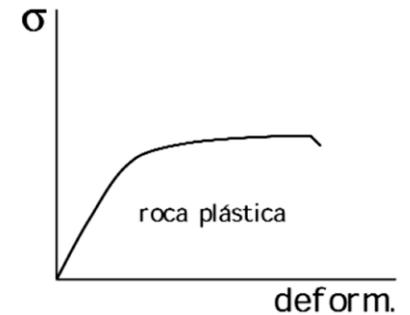
La misma roca en distintos ambientes geológicos se deforma de manera diferente.

Ej.: cuarcitas de Sierra de la Ventana.



(a) En superficie
comportamiento frágil

(b) 20 km de
profundidad
deformación plástica



Tipo de roca

En el mismo ambiente geológico distintas rocas se deforman de manera diferente.



Rocas incompetentes: se deforman bajo acción de tensiones bajas a moderadas.
Ej.: rocas arcillosas, deformación plástica



Isla Blå Jungfrun, Suecia (M.V. Altinier, 2019)

Rocas competentes: se deforman por acción de grandes tensiones.
Ej.: granitos y granodioritas, comportamiento frágil

Temperatura

Basalto en superficie → frágil



<https://www.rocasym minerales.net/basalto/#prettyPhoto>

Lava basáltica extruida (700°C – 1200°C) → dúctil



<https://ingeoexpert.com/articulo/coladas-lava-tipos-caracteristicas/?v=5b61a1b298a0>

Fracturas

Elemento estructural de interés en análisis de MR.

Discontinuidades estrechas y planas.

Comportamiento frágil de la roca.

Superficies de debilidad:
fragmentación de roca, desagregación de material, circulación de fluidos.



https://www.flickr.com/photos/banco_imagenes_geologicas/albums/72157625031979374/with/5023313701/

(a) Diaclasas

En gral. no hay desplazamiento entre bloques. Si lo hay, es perpendicular al plano de fracturación.

(b) Fallas

Desplazamiento entre bloques paralelo al plano de fracturación.

Diaclasas

Fracturas con o sin desplazamiento de bloques.

Si hay desplazamiento, es perpendicular al plano de fracturación.



<https://www.meteorologiaenred.com/diaclasas.html>



Clasificación de macizos rocosos y estimación de su resistencia.

https://www.flickr.com/photos/banco_imagenes_geologicas/albums/72157625031979374

Diaclasas de origen tectónico

Cambios en la magnitud y dirección de esfuerzos tectónicos.



<https://blogs.agu.org/mountainbeltway/2012/05/18/friday-fold-bedford-canyon-fm-california/>



https://www.flickr.com/photos/banco_imagenes_geologicas/albums/72157625031979374/with/5023313701/

Diaclasas por
enfriamiento



Basaltos

Dacitas





Diaclasas por reducción de carga litostática

Descompresión por erosión, excavaciones.

Diaclasas de foliación. Granitos



https://www.flickr.com/photos/banco_imagenes_geologicas/44887920802/in/album-72157624907313759/

Fallas

Esfuerzos: tensionales, cizalla, compresivos.

Comportamiento frágil.

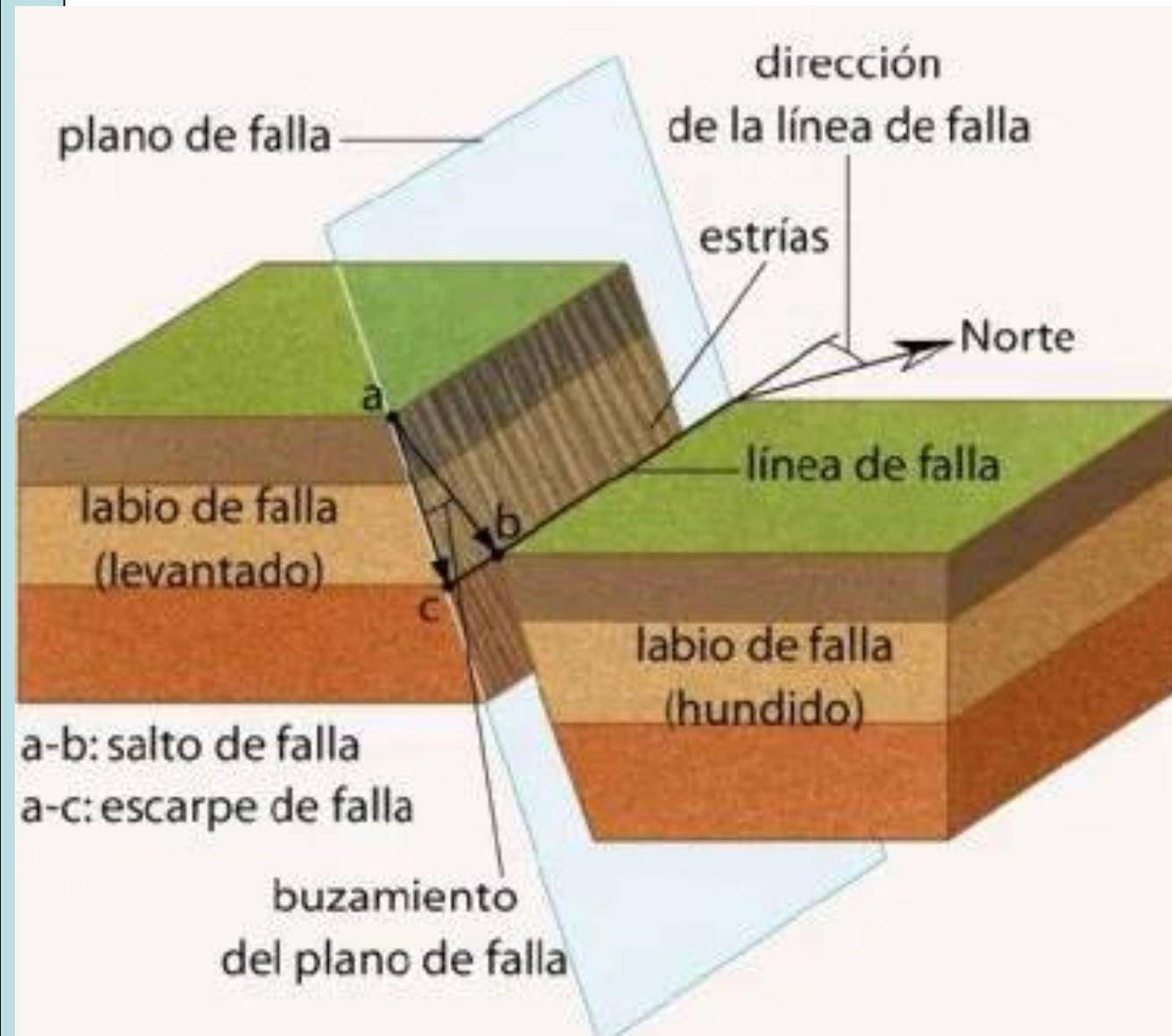
Desplazamiento de bloques paralelo al plano de fracturación.



https://www.flickr.com/photos/banco_imagenes_geologicas/albums/72157625032368696/with/42571213492/

Valle de rift - Grábrók (Islandia)

Fallas de desplazamiento vertical



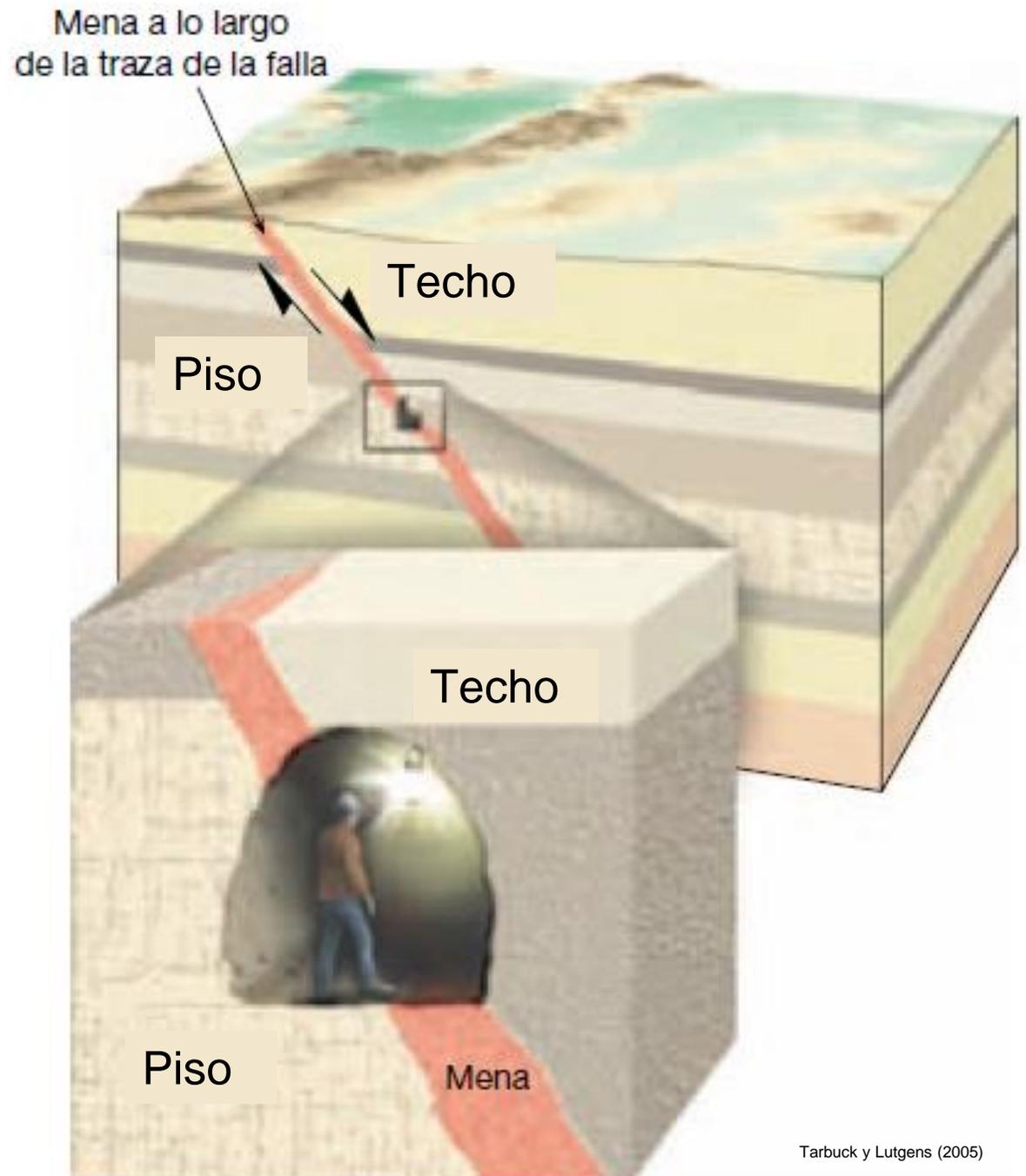
Plano de falla:
superficie de rotura sobre la que se produce el desplazamiento de bloques.

Bloques de falla (Labios):
cada uno de los bloques que se desplaza.

Salto de falla:
desplazamiento de un bloque con respecto al otro medido en las componentes vertical y horizontal

Bloque de piso o bloque inferior: bloque ubicado debajo del plano de falla.

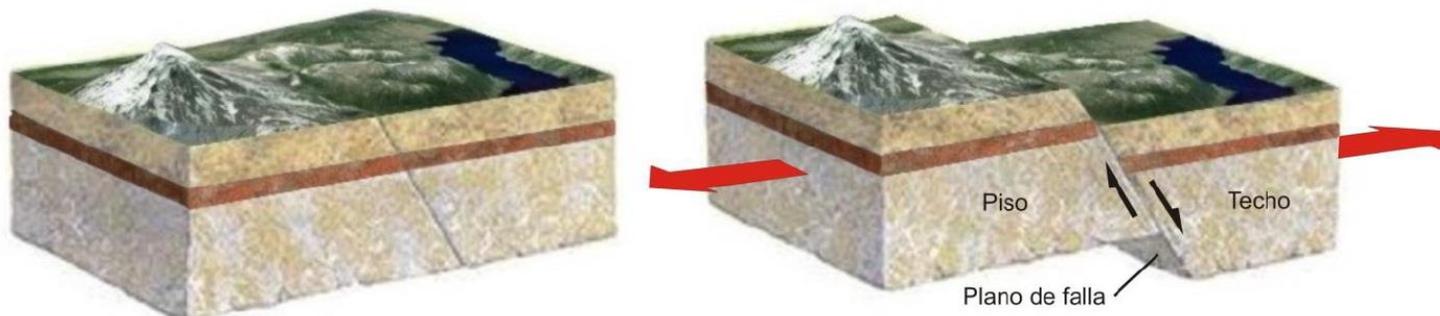
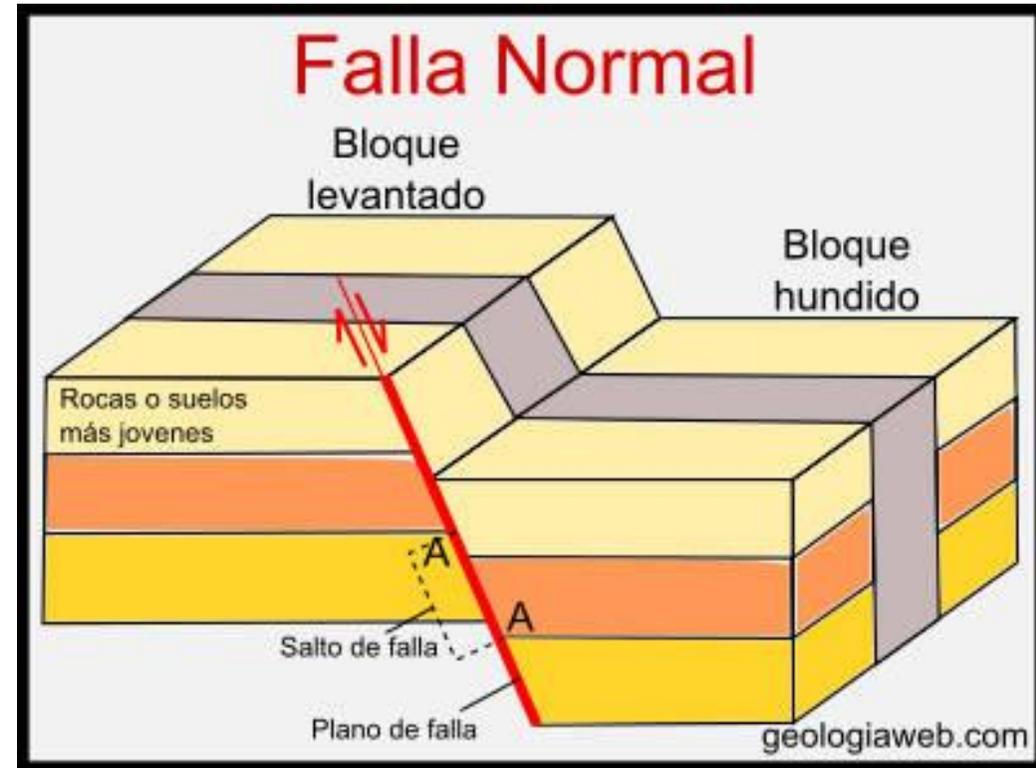
Bloque de techo o bloque superior: bloque ubicado encima del plano de falla.



Fallas normales. Desplazamiento vertical.

Bloque superior: desliza hacia abajo.

Bloque inferior: desliza hacia arriba.



Tensión horizontal.
Alargamiento del terreno.
Adelgazamiento CT.

<http://contenidos.inpres.gov.ar/docs/Fallas%20Geol%C3%B3gicas.pdf>

Falla normal



<http://contenidos.inpres.gov.ar/docs/Fallas%20Geol%C3%B3gicas.pdf>

Falla normal

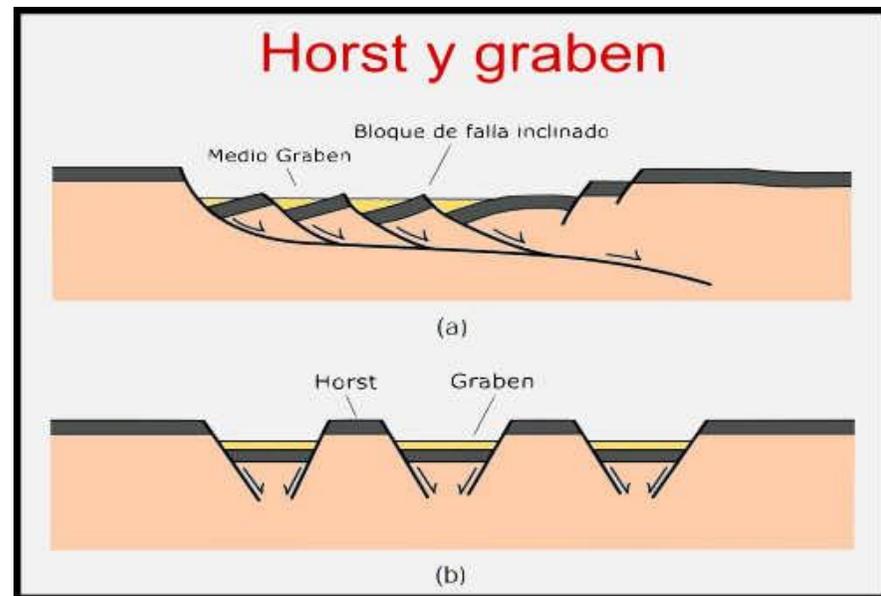


https://www.flickr.com/photos/banco_imagenes_geologicas/albums/72157624907549475/with/5023987322/

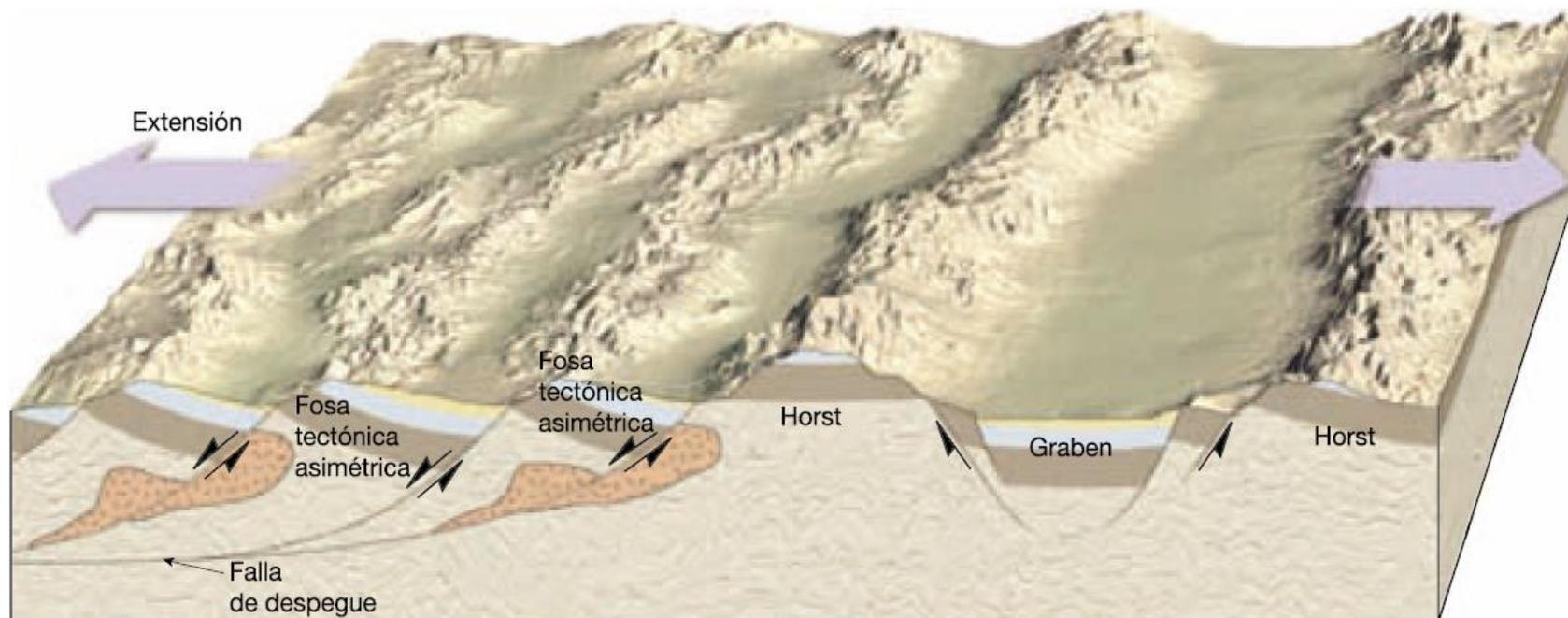
Fallas normales

Sistemas de fallas normales ↔ zonas de extensión cortical (rift, dorsales oceánicas)

Estructuras asociadas: graben, horst, hemigraben



<https://geologiaiweb.com/geologia-general/fallas-geologicas/>

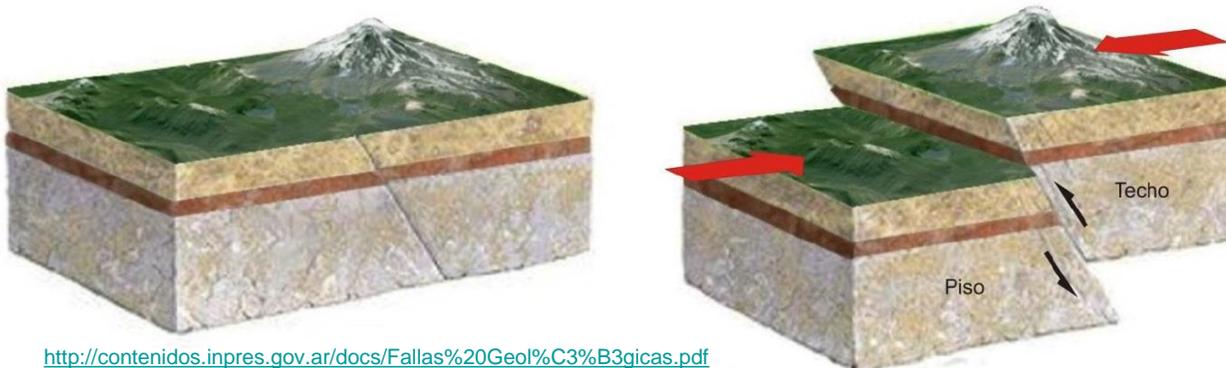
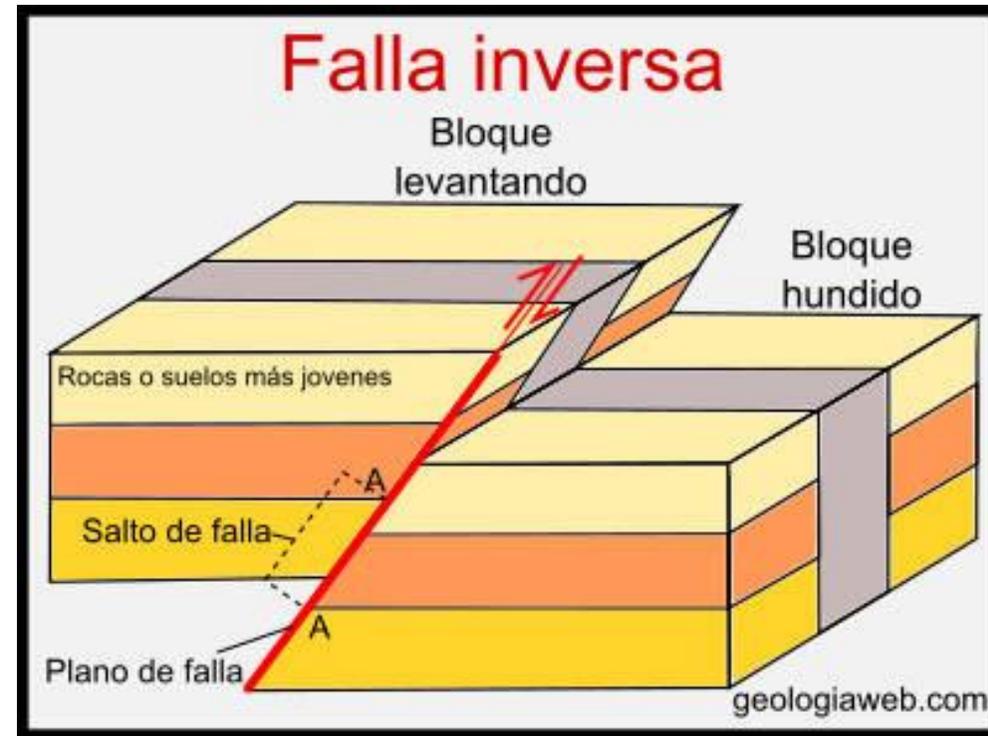


Tarback y Lutgens (2005)

Fallas inversas. Desplazamiento vertical.

Bloque superior (techo): desliza hacia arriba.

Bloque inferior (piso): desliza hacia abajo.



Compresión horizontal.
Acortamiento del terreno.
Engrosamiento CT.

<http://contenidos.inpres.gov.ar/docs/Fallas%20Geol%C3%B3gicas.pdf>

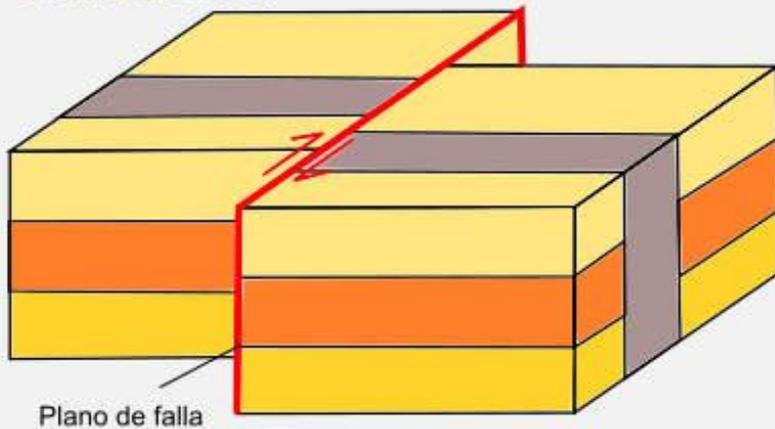
Fallas inversas



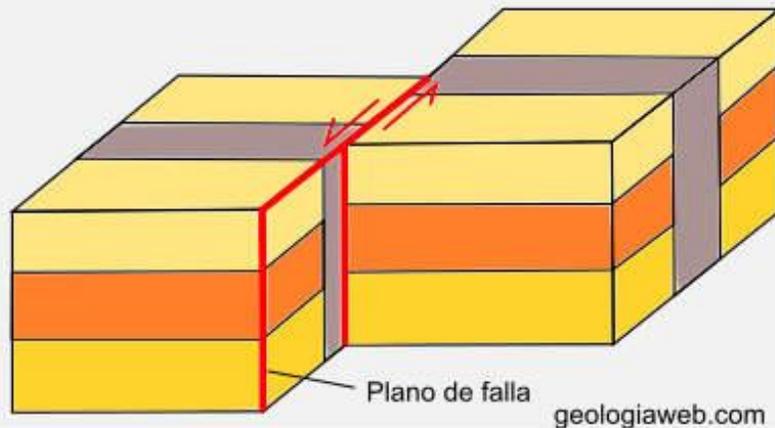
<http://contenidos.inpres.gov.ar/docs/Fallas%20Geol%C3%B3gicas.pdf>

Fallas de desgarre

Falla dextral



Falla Sinistral



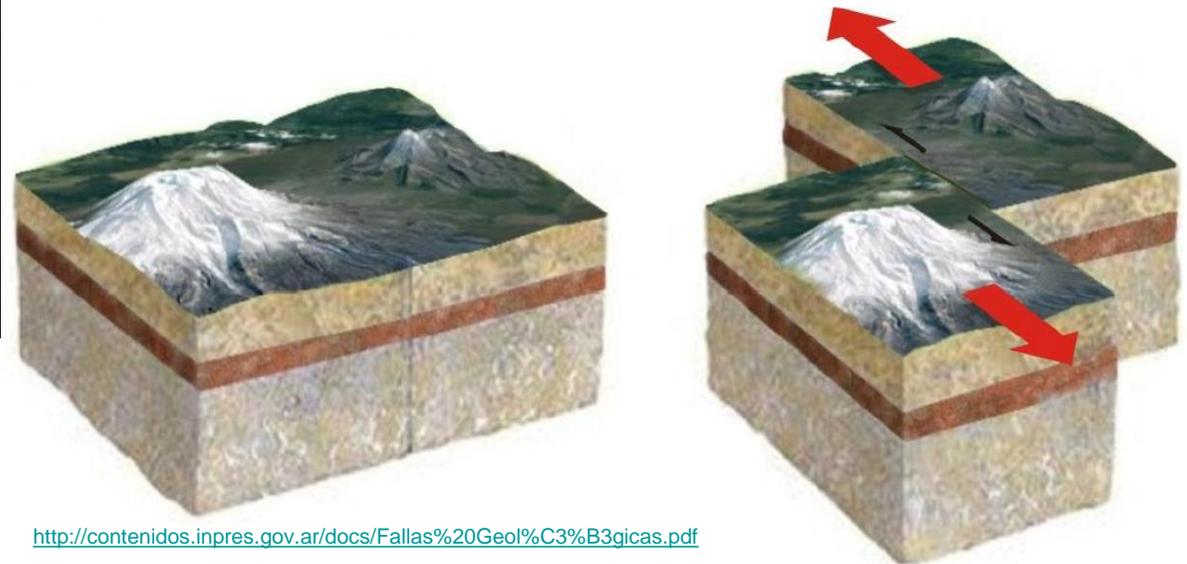
Fallas de desgarre o transcurrentes.
Desplazamiento horizontal.

Zonas de fallas → varios km.

Planos de falla verticales.

Esfuerzos de cizalla.

Desplazamiento de bloques paralelo a
la superficie del terreno.



Fallas de desgarre o transcurrentes



Falla de San Andrés (<https://static3.a24.com/images/2019/9/6/r19K7JUH-900x000.jpeg>)

Pliegues

Esfuerzos compresivos.
Deformación plástica.
Engrosamiento de la
corteza terrestre.

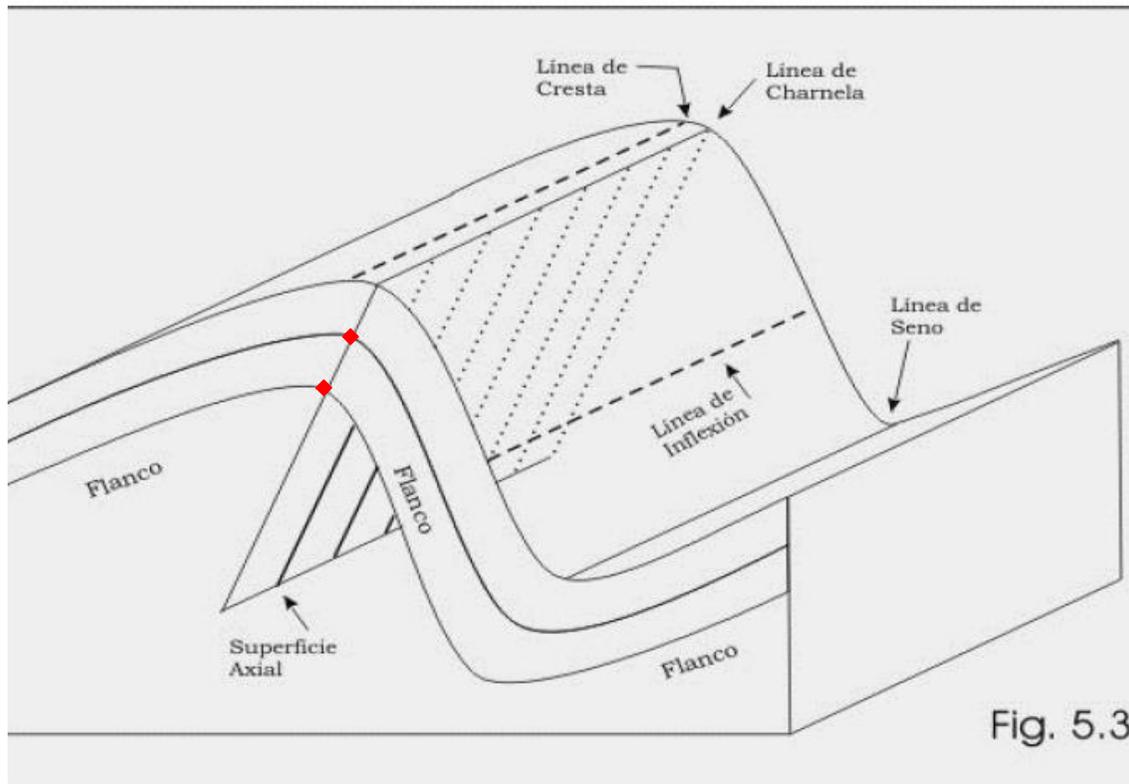


- Reacción plástica a la aplicación del esfuerzo.
- Estado plástico: profundidad (P y T) depende del tipo de roca.

Partes de un pliegue

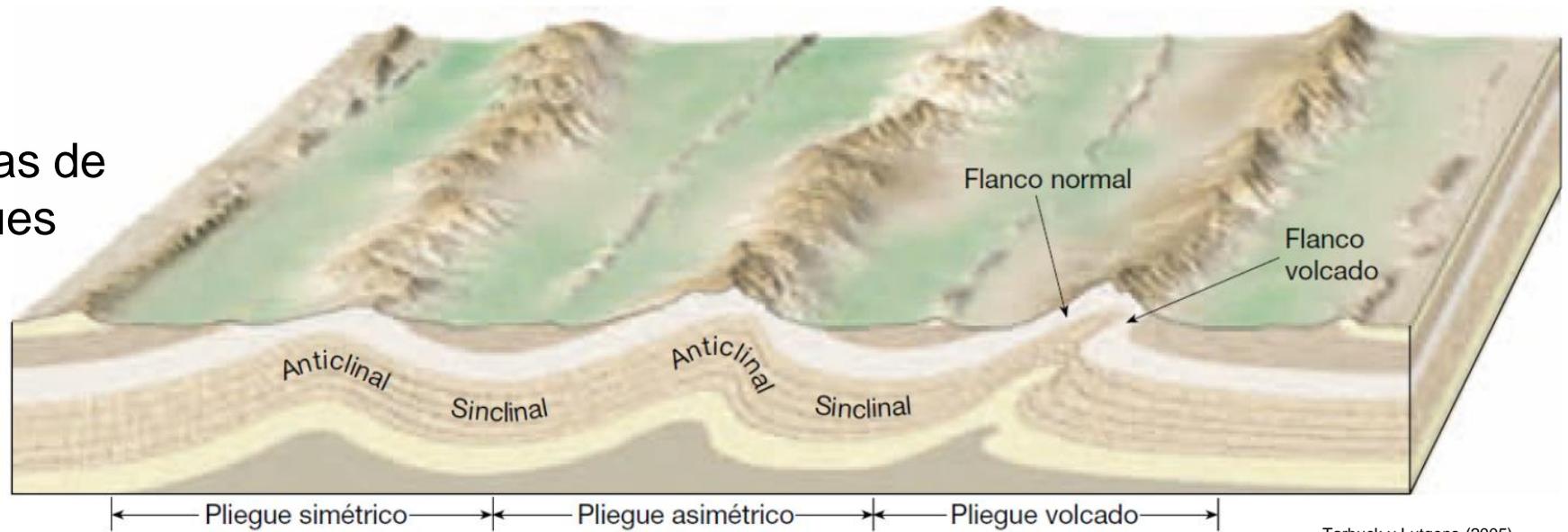


Tarback y Lutgens (2005)



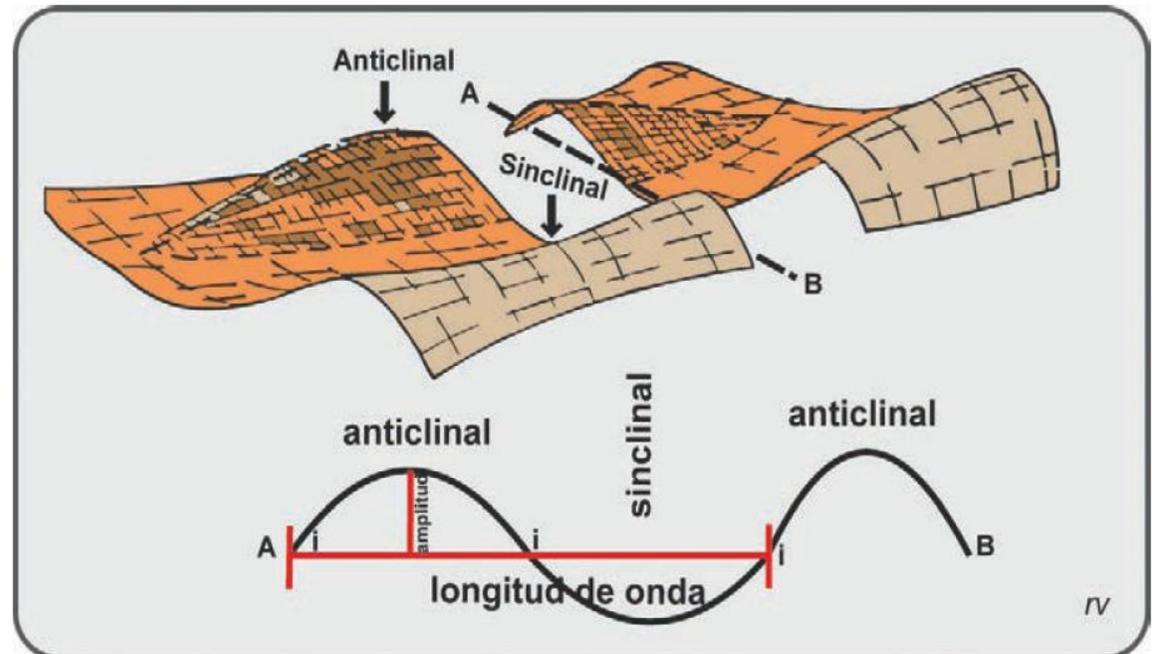
- Charnela: punto o zona de máxima curvatura de cada estrato
- Eje o línea de charnela: línea que une los puntos de máxima curvatura
- Superficie axial: superficie imaginaria que une los puntos de máxima curvatura de todos los estratos
- Flanco: superficie menos curvada del pliegue (lado)

Formas de pliegues



Tarbuck y Lutgens (2005)

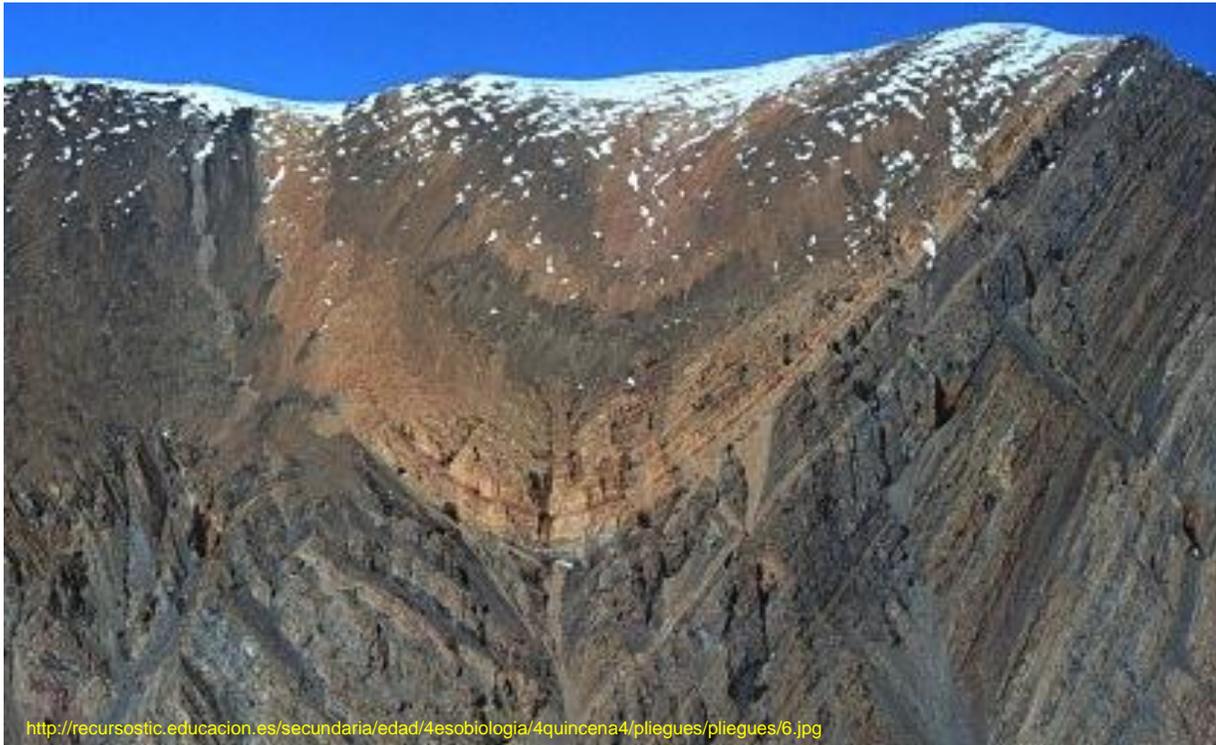
- **Anticlinal**
Pliegue convexo.
- **Sinclinal**
Pliegue cóncavo.



rv

Anticlinales y sinclinales

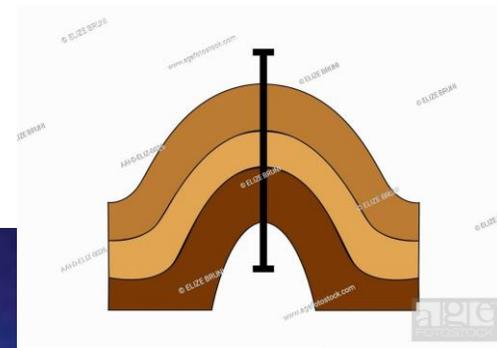
Sinclinal



Anticlinal

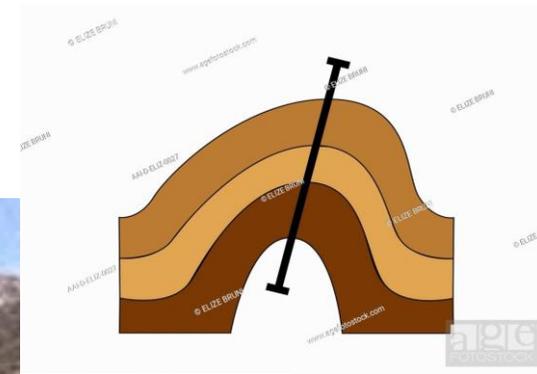


Pliegues simétricos

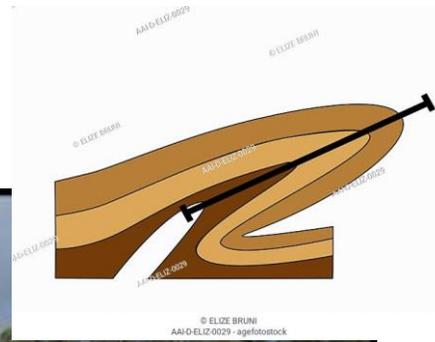


<http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esobiologia/4quincena4/pliegues/pliegues/8.jpg>

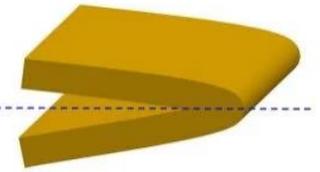
Pliegues asimétricos



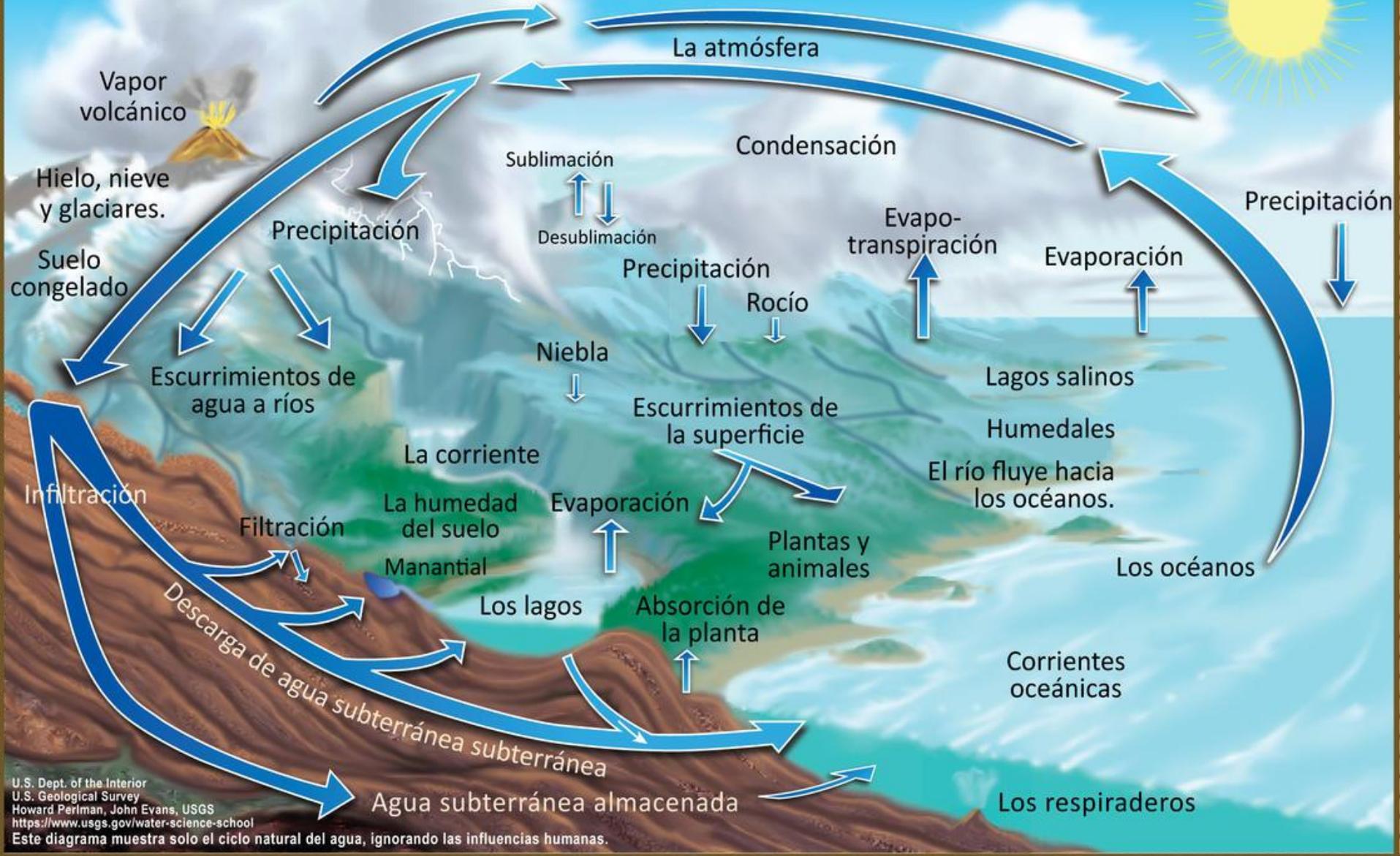
Pliegues volcados



Pliegues tumbados



El Ciclo del Agua



U.S. Dept. of the Interior
U.S. Geological Survey
Howard Perlman, John Evans, USGS
<https://www.usgs.gov/water-science-school>

Este diagrama muestra solo el ciclo natural del agua, ignorando las influencias humanas.

Ciclo hidrológico

Circulación del agua desde los océanos a la atmósfera, de la atmósfera a los continentes y de los continentes al océano

- Interacción de todos los componentes de la hidrósfera
- Fuente de energía: radiación solar
- Flujo del agua en la tierra en todos sus estados físicos
- Procesos: evaporación, condensación, precipitación, transpiración de plantas, etc.

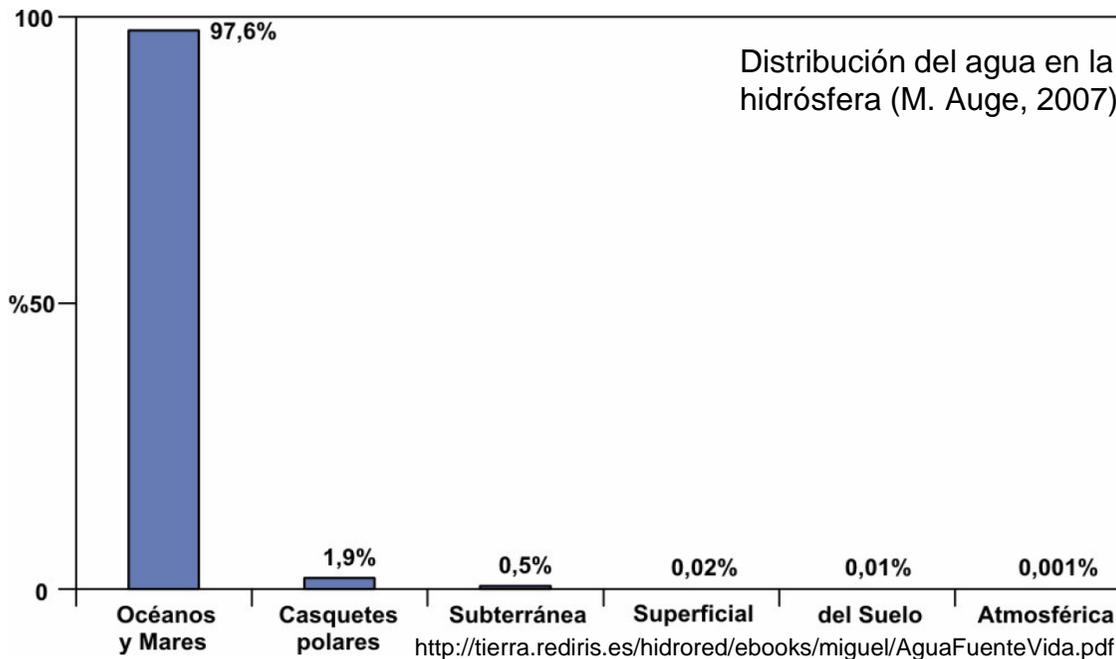
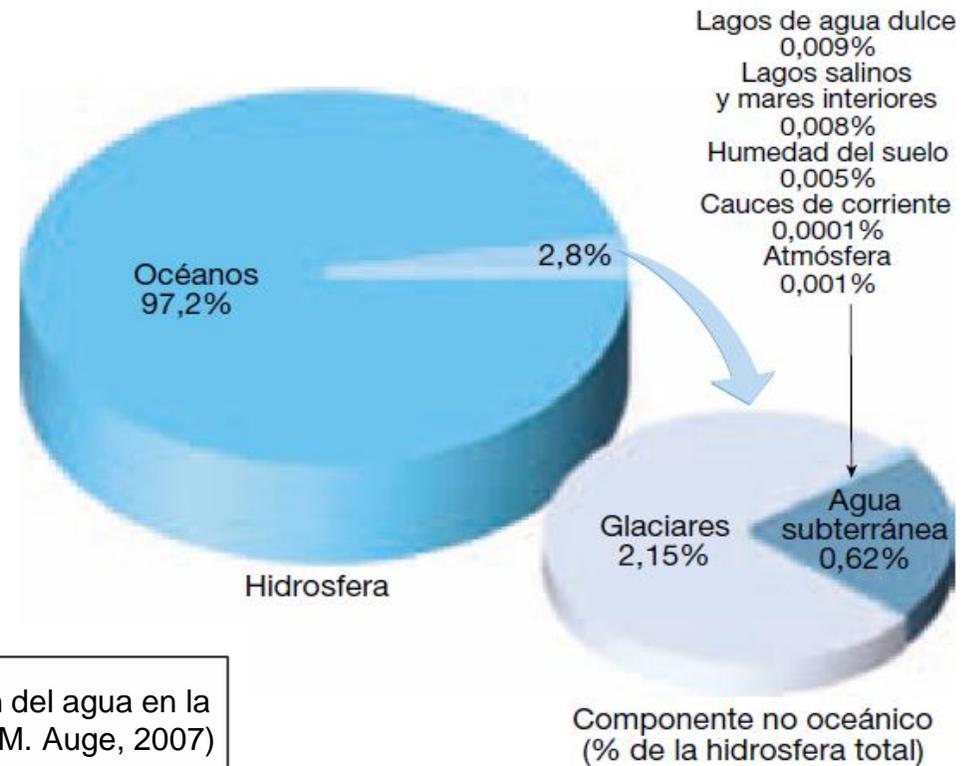
Regulación del clima

Modelado del relieve

Vida en el planeta.

Distribución del agua en la hidrósfera

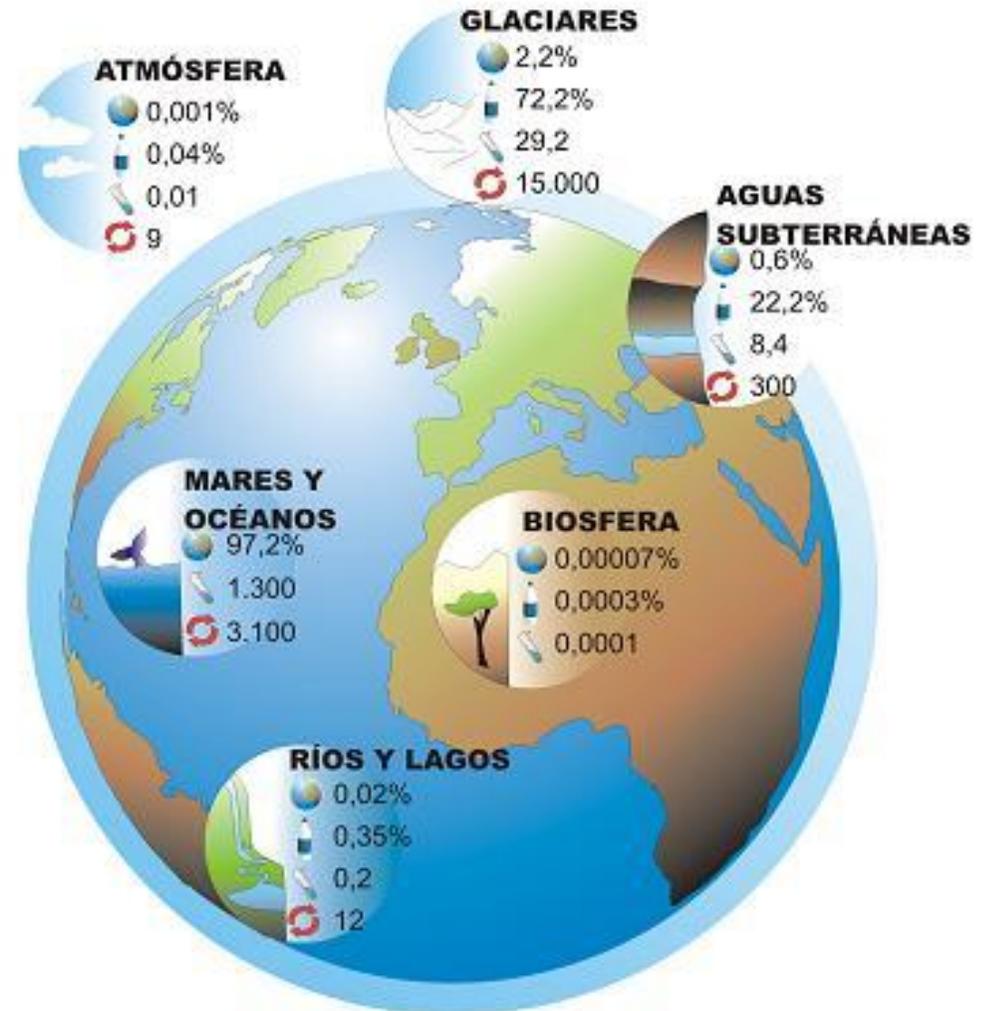
- Mayor proporción de agua dulce concentrada en casquetes polares y glaciares (~ 2%)
- Agua subterránea: mayor reservorio de agua dulce fácilmente extraíble (~ 0,6%)



Distribución del agua de la Tierra.
Tarbuck y Lutgens (2005)

Agua dulce:

- ~ 14%: aguas subterráneas.
- ~ 85%: glaciares y casquetes polares.
- ~ 1%: aguas superficiales.

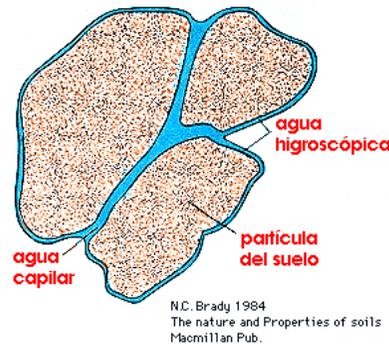


● % SOBRE AGUA TOTAL
■ % SOBRE AGUA DULCE
— VOLUMEN EN MILLONES DE KM³
⌚ TASA DE RENOVACIÓN EN AÑOS

Agua que se infiltra en suelos

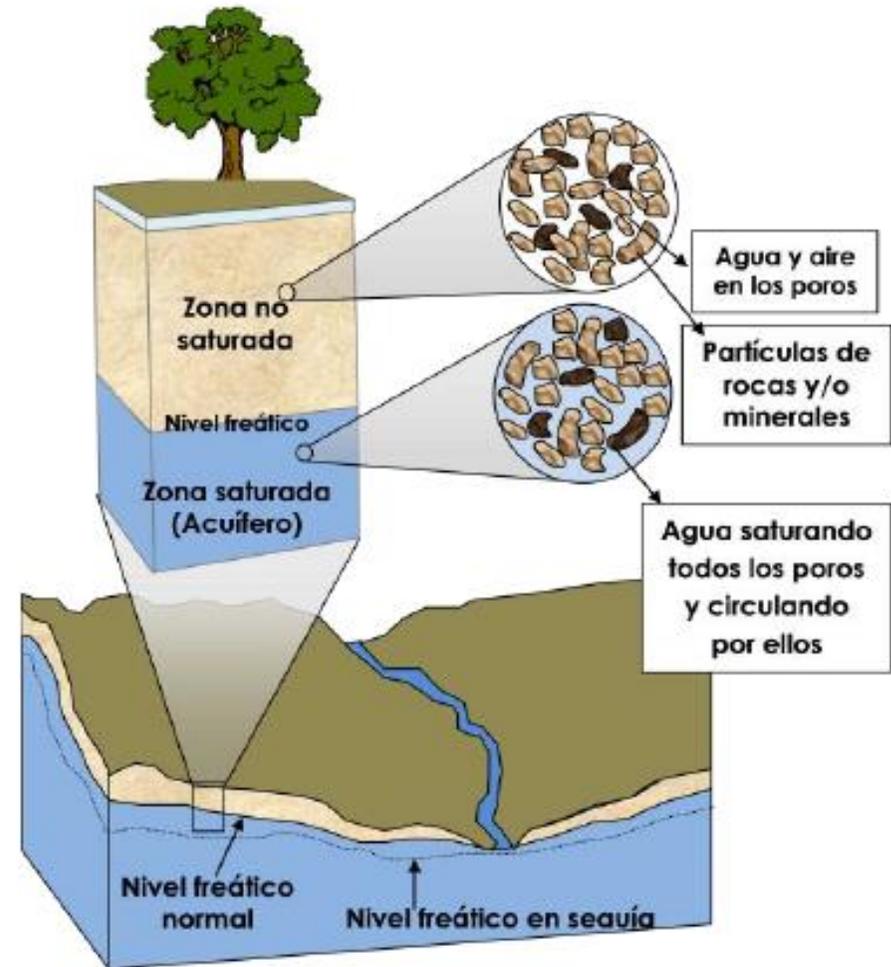
- **Agua retenida en el suelo:** agua capilar (tensión superficial) y agua higroscópica (adsorbida en partículas del suelo) ↔ funciones vitales y transpiración de plantas.

Zona no saturada.

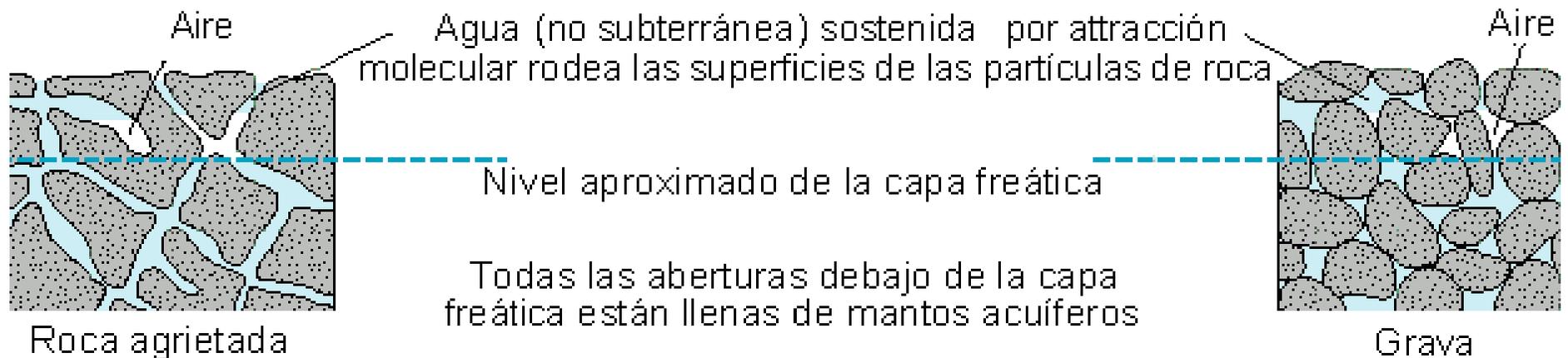
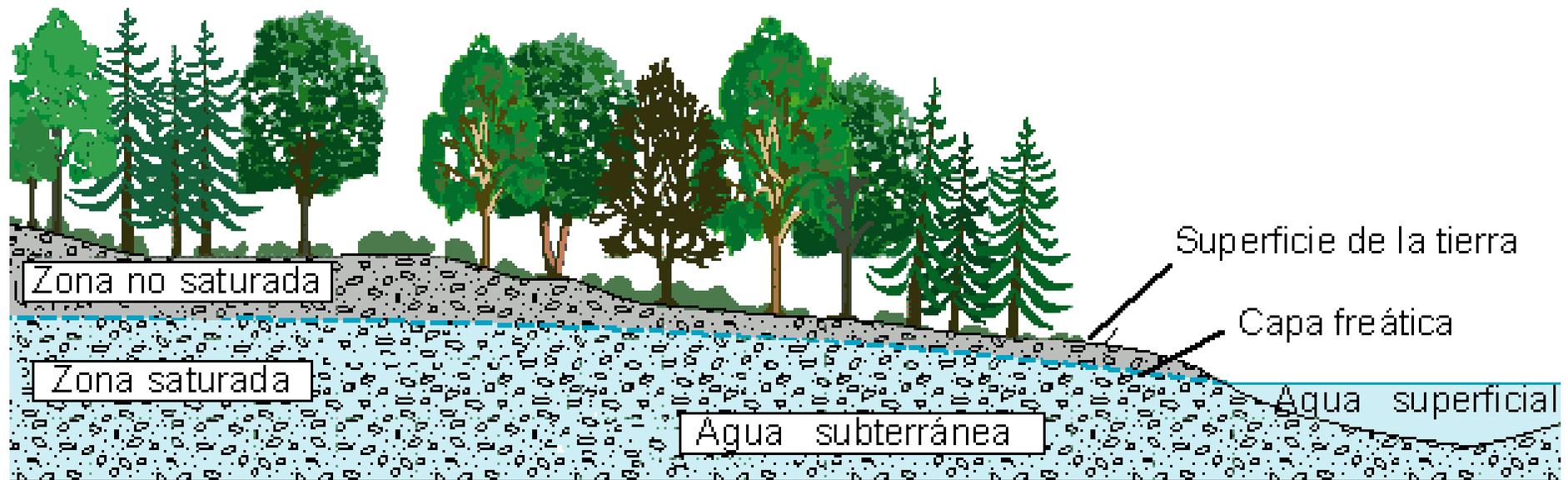


- **Agua subterránea:** porción de agua no retenida por el suelo que percola en profundidad hasta llegar a la **zona saturada**.

Depende de la geología y del clima
Almacenada en formaciones geológicas: capas de rocas o sedimentos.



Aguas subterráneas



Agua subterránea

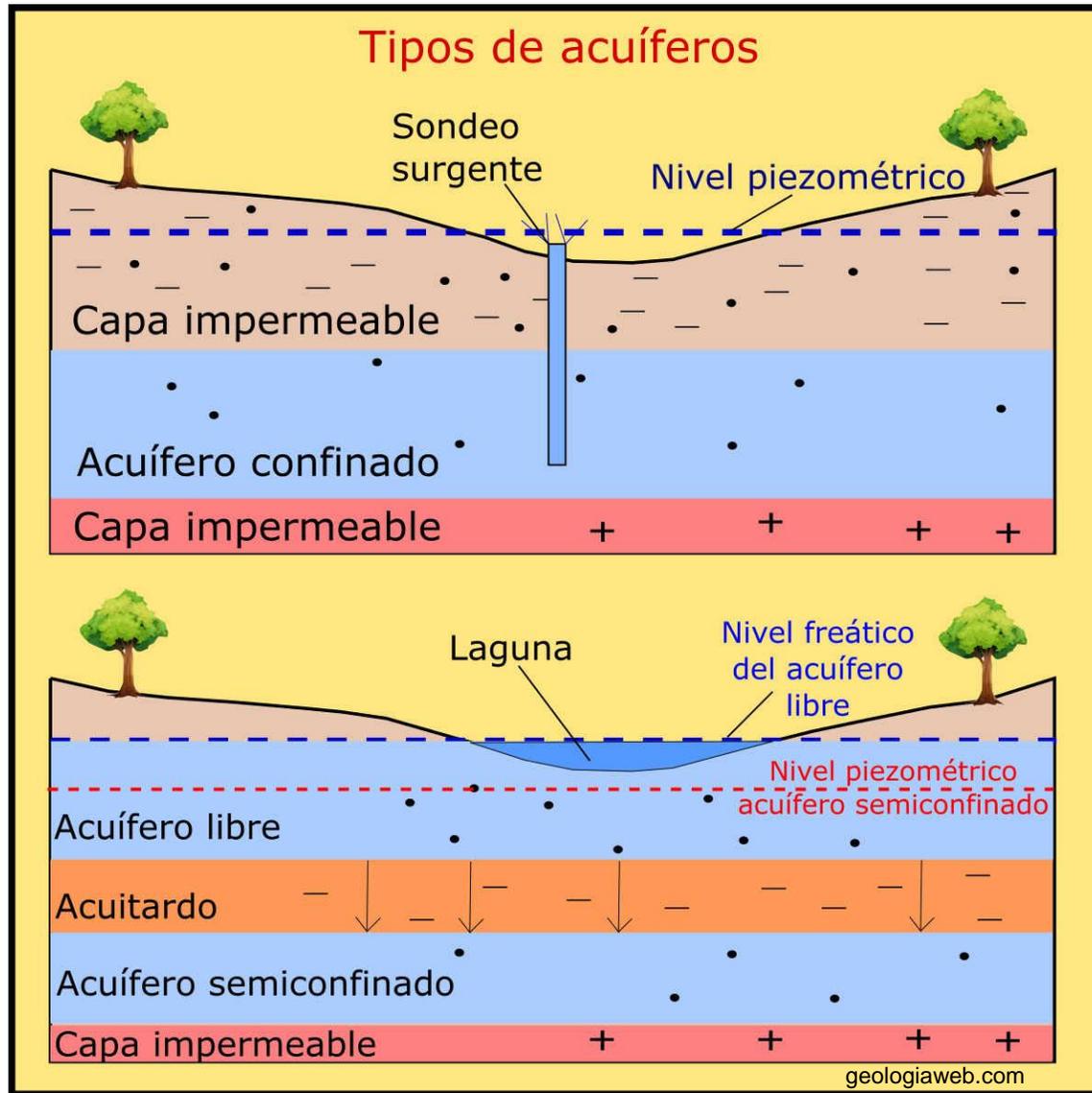
Los estratos de roca o sedimentos pueden actuar como:

- **Acuífero:** capacidad de recibir, almacenar y transportar agua. Altas permeabilidad y porosidad primaria o secundaria e importante interconexión de poros o fracturas. Explotable. Ej.: arenas, gravas, granitos fracturados o cualquier otra roca compacta con fracturación.
- **Acuitardo:** capacidad de almacenar agua y moderada a baja permeabilidad. Transmiten agua lentamente a acuíferos adyacentes. Ej.: arenas arcillosas, arenas limosas, limos, rocas compactas poco fracturadas.
- **Acuícludo:** muy baja permeabilidad aunque contiene agua. No explotables. Ej.: arcillas, arcillas limosas.
- **Acuífugo:** unidades que no contienen ni transmiten agua, baja proporción de vacíos interconectados. Ej.: granitos y otras rocas compactas.

Valores estimados de la conductividad hidráulica (metros /día)

		Domenico	Smith & W	Freeze	Fetter	Sanders
Sedimentos	Grava	25 a 2500	100 a 10 ⁵	100 a 10 ⁶	10 a 1000	
	Grava con arena					
	Arena gruesa	0,1 a 500	0,01 a 1000	1 a 1000	1 a 100	1 a 100
	Arena media	0,1a 50				
	Arena fina	0,02a 20			0,01 a 1	0,01 a 1
	Arena arcillosa			0,01 a 100	0,001 a 0,1	
	Silt, loess	10 ⁻⁴ a 2	10 ⁻⁴ a 1	10 ⁻⁴ a 1	0,001 a 0,1	10 ⁻⁴ a 1
	Arcilla	10 ⁻⁶ a 4*10 ⁻⁴	10 ⁻⁷ a 10 ⁻³		10 ⁻⁶ a 10 ⁻³	10 ⁻⁶ a 10 ⁻³
	Arcilla marina inalterada	10 ⁻⁷ a 2*10 ⁻⁴		10 ⁻¹¹ a 10 ⁻⁷		
Rocas Sedimentarias	Calizas carstificadas	0,1 a 2000	0,05 a 0,5	0,1 a 1000		0,1 a 10 ⁷
	Calizas, dolomías	10 ⁻⁴ a 0,5	0,001 a 0,5	10 ⁻⁴ a 1		10 ⁻⁴ a 1
	Areniscas	3*10 ⁻⁵ a 0,5	10 ⁻⁵ a 1	10 ⁻⁵ a 1		
	Argilitas (siltstone)	10 ⁻⁶ a 0,001				
	Pizarras sedimentarias (Shale) intactas	10 ⁻⁸ a 2*10 ⁻⁴	10 ⁻⁸ a 10 ⁻⁴	10 ⁻⁴ a 10 ⁻⁸		10 ⁻⁴ a 10 ⁻⁸
	Pizarras sed.(Shale) fracturadas/alteradas		10 ⁻⁴ a 1			
Rocas cristalinas	Basalto inalterado, sin fracturar		10 ⁻⁶ a 10 ⁻³			10 ⁻⁶ a 10 ⁻³
	Basalto fracturado/vesicular cuaternario		10 a 1000			0,1 a 10 ⁶
	Escorias basálticas		0,001 a 1000			
	Basalto permeable	0,03 s 2000		0,02 a 1000		
	Rocas ígneas y metamórficas sin fracturar	10 ⁻⁹ a 10 ⁻⁵	10 ⁻⁹ a 10 ⁻⁵	10 ⁻⁹ a 10 ⁻⁵		10 ⁻⁹ a 10 ⁻⁵
	Rocas ígneas y metamórficas fracturadas	0,001 a 25	10 ⁻⁵ a 1	0,0005 a 20		10 ⁻⁵ a 1
	Granito alterado	0,3 a 5				
	Gabro alterado	0,05 a 0,3				

Acuíferos

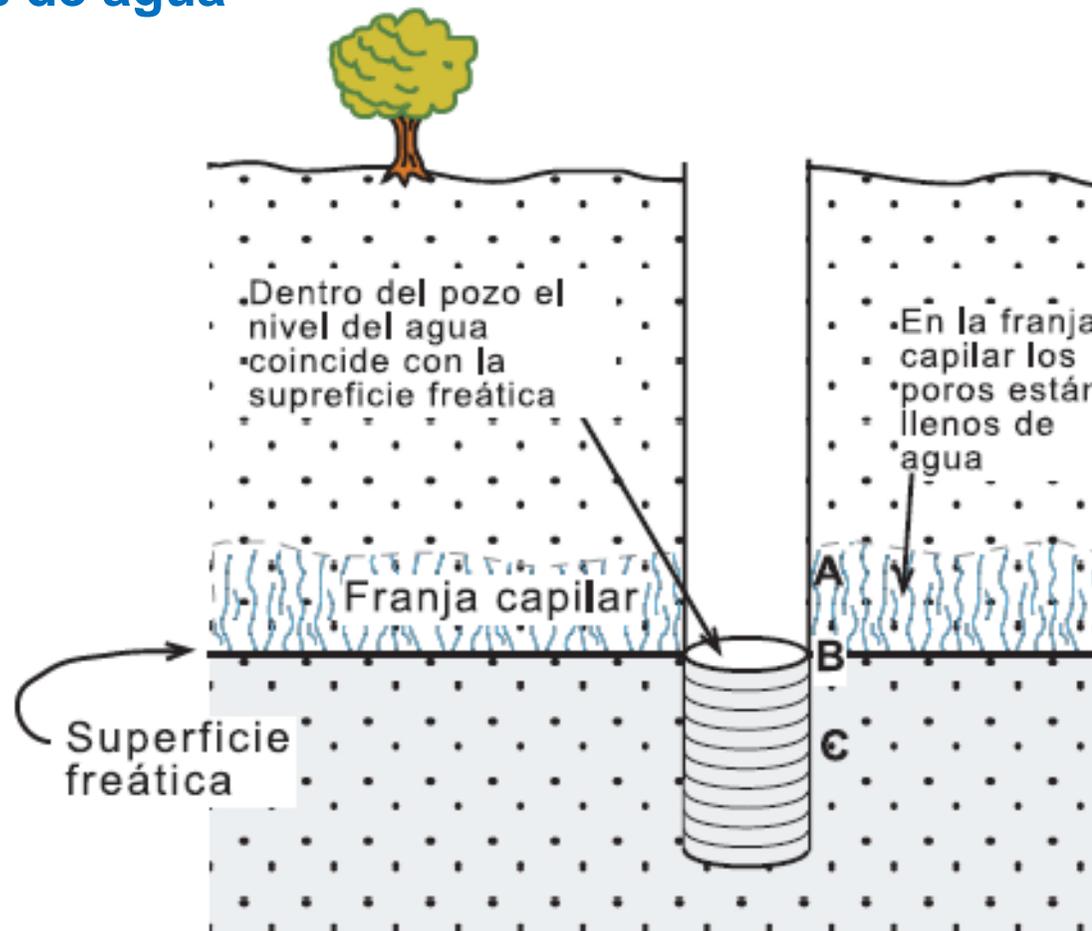


- **Acuífero libre o freático:** límite superior (techo) coincide con la superficie freática → $P_{\text{agua}} = P_{\text{atm}}$
Espesor varía con las oscilaciones de la superficie freática: espesor saturado

- **Acuífero confinado:** limitado en su base y techo por formaciones impermeables → $P_{\text{agua}} > P_{\text{atm}}$ Nivel de agua coincide con el nivel piezométrico
Espesor fijo = espesor de la formación geológica que lo constituye

- **Acuífero semiconfinado:** limitado por un acuitardo en el techo y un acuífero libre en la base. Recarga desde el acuitardo → $P_{\text{agua}} > P_{\text{atm}}$
Nivel de agua corresponde al nivel piezométrico

- **Superficie freática:** superficie formada por los puntos en que $P_{\text{agua}} = P_{\text{atm}}$
- **Nivel freático:** punto en la superficie freática en el que $P_{\text{agua}} = P_{\text{atm}}$. El nivel de agua alcanzado en un pozo, en un acuífero libre, coincide con el nivel freático
- **Zona saturada:** por debajo de la superficie freática. Todos los **poros y fisuras están llenos de agua**



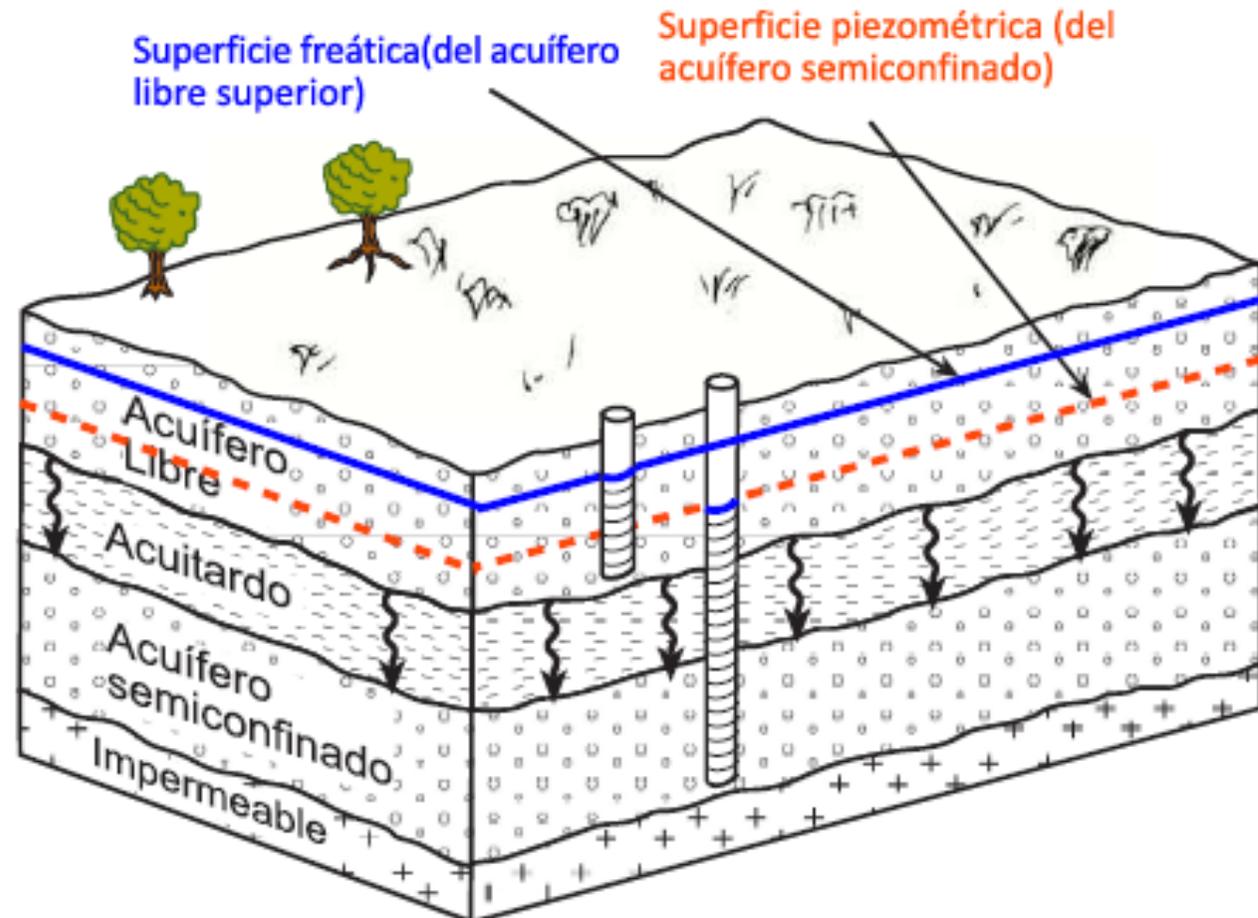
A: $P_{\text{agua}} < P_{\text{atm}}$

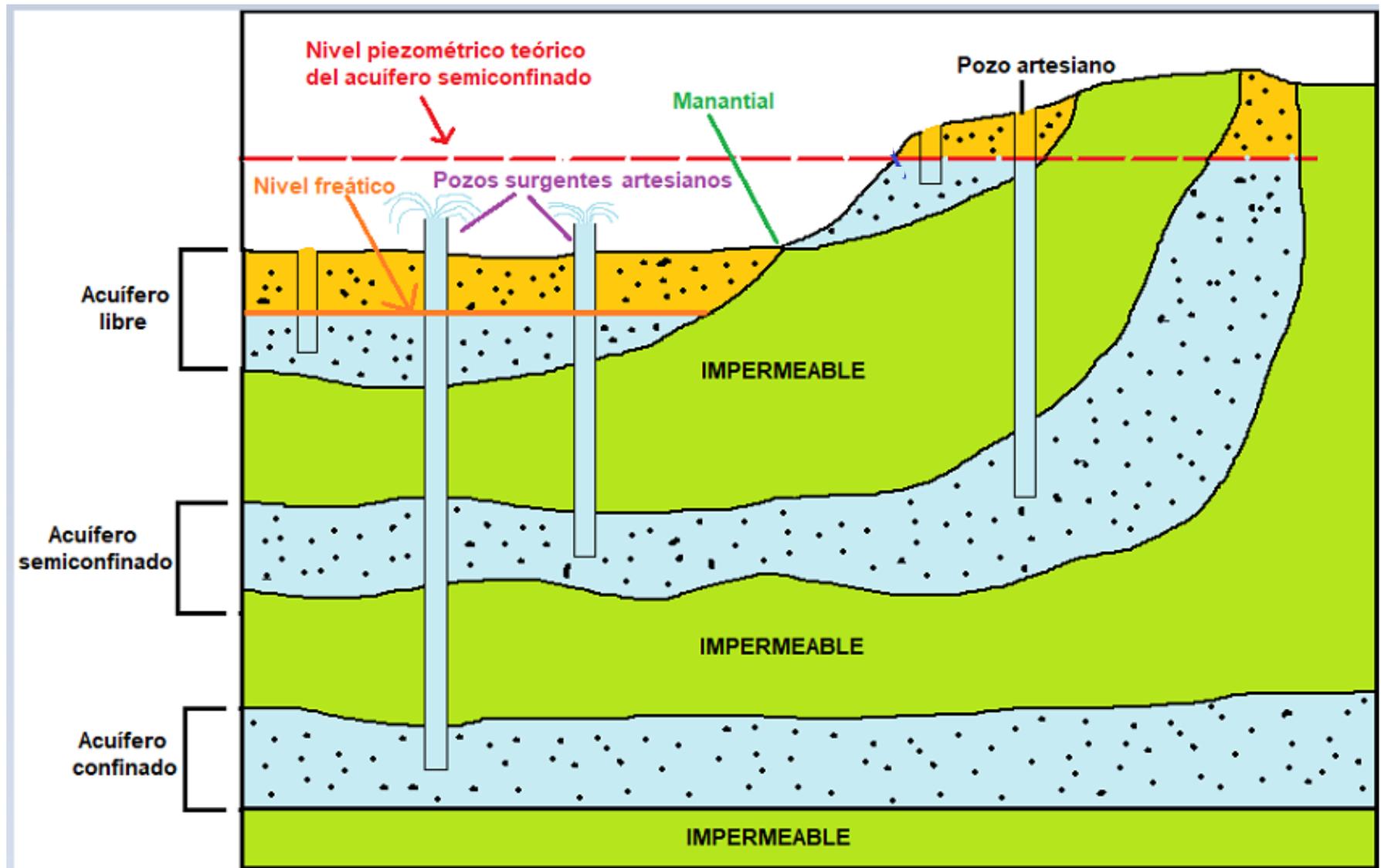
B: $P_{\text{agua}} = P_{\text{atm}}$

C: $P_{\text{agua}} > P_{\text{atm}}$

Nivel piezométrico: cota que alcanzaría el agua en un pozo al equilibrarse con la presión atmosférica en un acuífero confinado o semiconfinado

Superficie piezométrica: superficie virtual formada por los puntos que alcanzaría el agua ($P_{\text{agua}} = P_{\text{atm}}$) si se hicieran infinitas perforaciones en un acuífero confinado o semiconfinado





http://agrega.juntadeandalucia.es/repositorio/07022019/78/es-an_2019020712_9084331/42acuiferos_estructura_y_tipos.html

Donde la superficie piezométrica está por encima de la topográfica hay surgencia de agua: manantiales y, en caso de perforaciones, pozos surgentes

A) De acuerdo a la capacidad para transmitir el agua subterránea, indique la función que cumplen las siguientes capas: arenas finas ($K: 0,01 - 0,001 \text{ cm/s}$), arcillas limosas ($K: 0,001 - 0,00001 \text{ cm/s}$), granito no fracturado ($K: 1,2 \cdot 10^{-8} - 1,2 \cdot 10^{-12} \text{ cm/s}$)

B) ¿Qué tipo de acuífero es la capa de arenas finas a medias?

C) ¿Dónde se midió el nivel piezométrico y dónde el freático?

