

UNIDAD 2:

CUENCAS SEDIMENTARIAS. ZONAS DE RECARGA Y DESCARGA

Las rocas y sedimentos y sus propiedades acuíferas

Las rocas de la corteza terrestre, sus propiedades acuíferas. Distribución del agua en el subsuelo.

Cuencas Sedimentarias

Cuencas sedimentarias. Distribución de los materiales sedimentarios en las cuencas. Clasificación en función a sus propiedades acuíferas.

Clasificación de los acuíferos

Tipos de Acuíferos, clasificación por presión y por porosidad.

Relación aguas superficiales y subterráneas

Cuenca Hidrológica, superficial y subterránea. Relación aguas superficiales y subterráneas. Mediciones de caudales. Variaciones de niveles de la cuenca. Mapa de niveles.

Áreas naturales de recarga y descarga. Zonas de surgencia natural. Corte esquemático de una cuenca hidrogeológica. Cálculo de la recarga.

Las rocas de la corteza terrestre

Las rocas se **clasifican** de acuerdo con su **modo de formación u origen** y de acuerdo con los **minerales** que las **forman** (criterio genético-mineralógico).

Tres grandes tipos o clases de rocas:

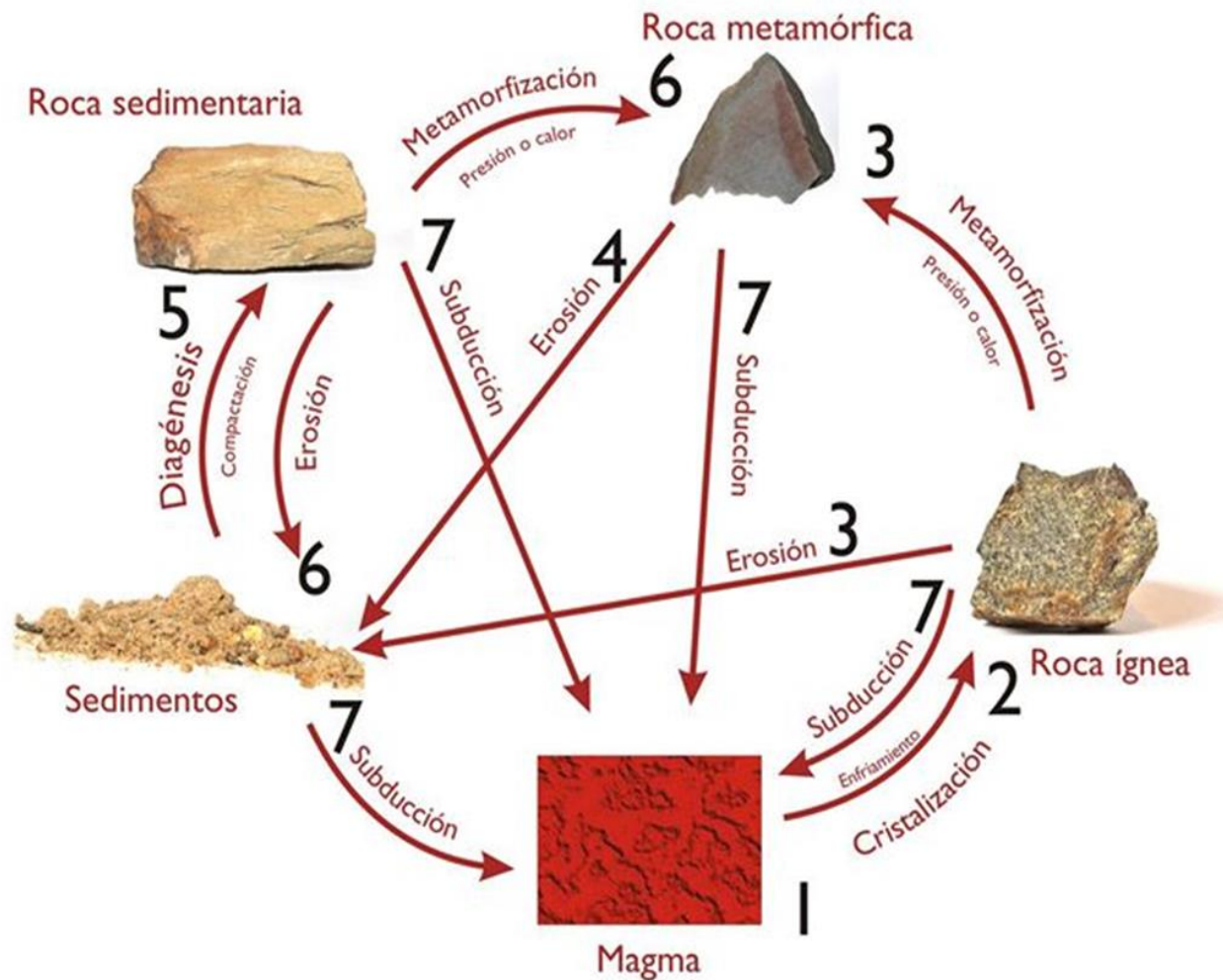
- **Ígneas:** formadas por cristalización de magmas en profundidad o en la superficie.
- **Sedimentarias:** formadas por acumulación de restos de rocas preexistentes, transportados por diversos agentes y posterior consolidación de los sedimentos.
- **Metamórficas:** formadas por transformaciones de los dos tipos anteriores, bajo la acción de los agentes físicos (temperatura, presión) o químicos (aportes de elementos químicos extraños a las mismas).

La **corteza terrestre** se **renueva continuamente** en un proceso CÍCLICO en el que las rocas se **forman, transforman y desaparecen**, para volver a **regenerarse** (escala temporal muy superior a la del ser humano)



Todas las rocas pasan por estos 3 tipos o clases.

Las rocas de la corteza terrestre



Propiedades acuíferas de las rocas

Refieren al **comportamiento de rocas y sedimentos** frente al **agua** y tienen que ver con su capacidad para almacenarla y transmitirla.

Almacenamiento  Porosidad

Transmisión  Permeabilidad

Propiedades acuíferas de las rocas

Para que un **fluido** pueda **almacenarse** en una **roca**, ésta debe tener **poros** (huecos).

Porosidad

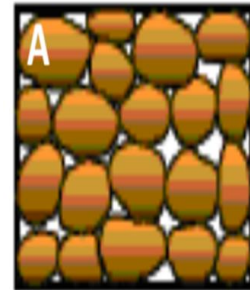
Relación entre el **volumen de poros / fisuras / fracturas** y el **volumen total de roca**.

El volumen de vacíos entre los sedimentos, determina la cantidad de agua que pueden almacenar.

Material sedimentario SUELTO (detrítico)

Porosidad **intergranular**:

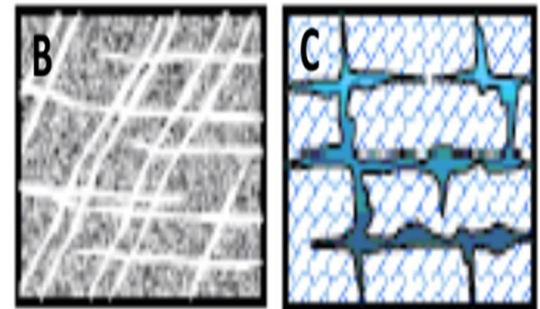
Huecos están entre los granos de sedimentos (A)



Material sedimentario COMPACTO

Porosidad **por fracturación**:

Huecos están en las fisuras (B) / fracturas (C) generadas por esfuerzos en el interior de la roca



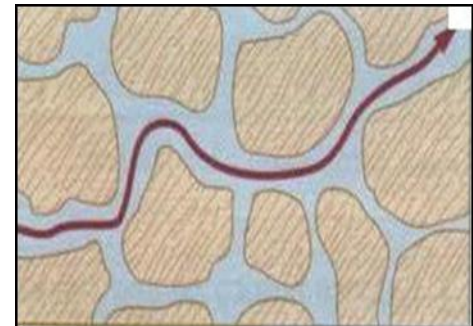
Propiedades acuíferas de las rocas

Para que un fluido pueda circular a través de un sedimento o de una roca, ésta debe tener poros y esos poros deben estar interconectados (Porosidad eficaz).

Permeabilidad

Concepto común: Capacidad de un cuerpo de ser atravesado por un fluido.

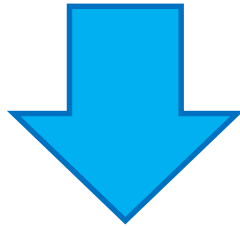
La facilidad con la que el agua se mueve a través de los sedimentos.



Hidrogeología: **constante de proporcionalidad** lineal entre el **caudal** y el **gradiente hidráulico**.

Distribución del agua en el subsuelo

Los poros de los sedimentos pueden contener **AIRE** y/o **AGUA**

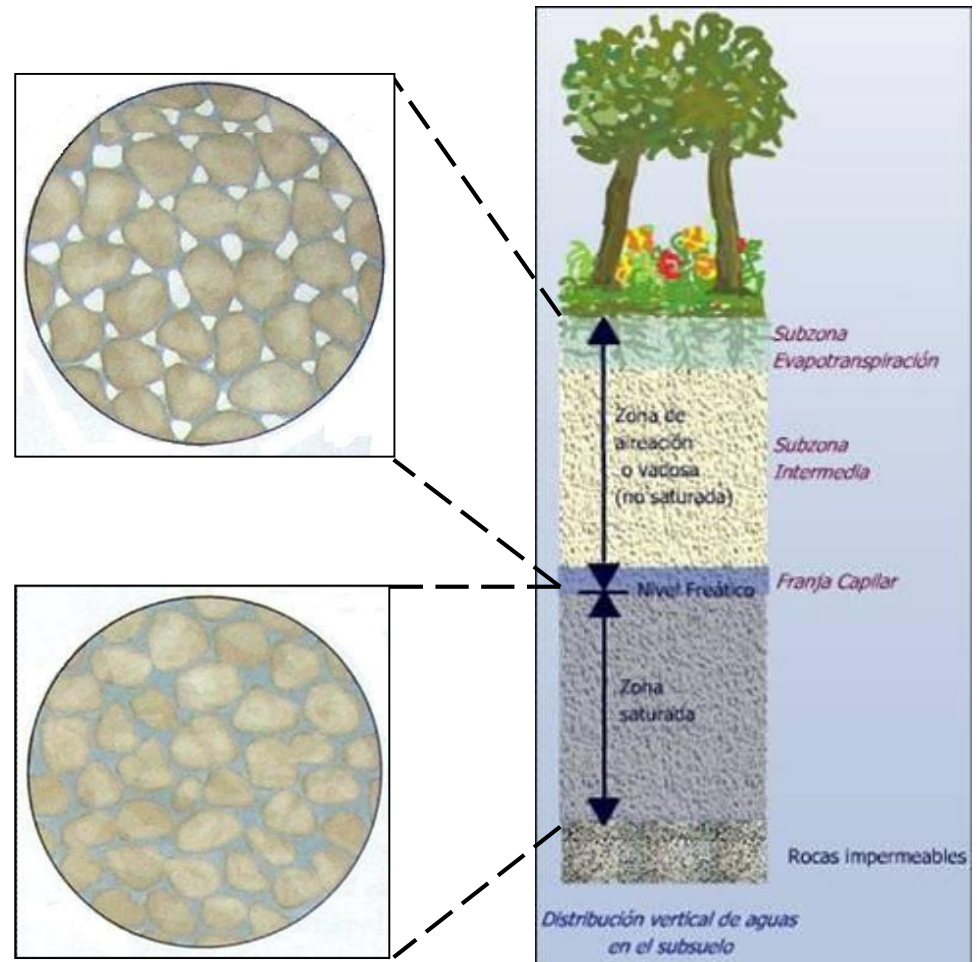


En el subsuelo se pueden encontrar **dos grandes zonas**:

1. Zona No Saturada

- a) *Zona de evapotranspiración*
- b) *Zona de retención*
- c) *Franja capilar*

2. Zona Saturada



Comparación de suelos de distinta textura

Porosidad de suelos ARENOSOS vs. suelos ARCILLOSOS



Menor volumen total de poros

Menor porosidad

Mayor permeabilidad



Mayor volumen total de poros

Mayor porosidad

Menor permeabilidad

Cuencas sedimentarias

Grandes regiones de la **corteza terrestre** caracterizadas por una **depresión o hundimiento de origen tectónico** donde se acumulan sedimentos en sucesiones de cientos a miles de metros de espesor durante largos períodos de tiempo.

Pueden tener forma de **cubeta** o de **fosa alargada** y extenderse por cientos, miles o millones de km².

Tipos de Cuencas Sedimentarias

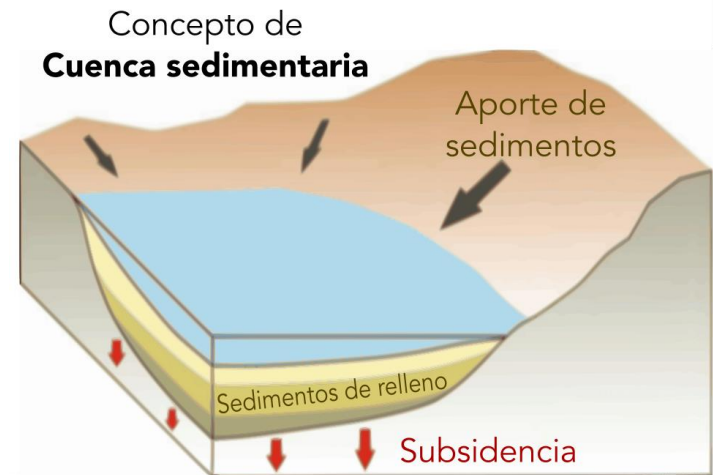
- **Marinas:** Se forman en el fondo del océano.
- **Continental:** Se forman en la tierra firme.

Cuencas continentales

Los materiales sedimentarios se distribuyen según las características del entorno geográfico y las fuerzas que lo han moldeado.

La evolución y relleno de una cuenca sedimentaria está controlado por varios factores:

- tectónica
- clima
- agentes de transporte
- etc.



La **cantidad** de **sedimentos** que **llegan** a la cuenca y los que se **producen** dentro de ella **influyen** en la **distribución** de los mismos y en los **sistemas depositacionales**.

Cuencas continentales

Los sedimentos provienen de áreas de **topografía positiva** y se acumulan en áreas de **topografía negativa**.

Las **fuerzas naturales** como el agua, el viento o el hielo, **transportan** los materiales sedimentarios desde las **zonas de origen** (montañas, rocas, etc.) y los **depositan** en las **cuencas**, influyendo en cómo se distribuyen los sedimentos.

Factores que influyen en la distribución:

- Tipo de material
- Energía de transporte
- Relieve del terreno
- Presencia de obstáculos

Tipos de depósitos sedimentarios:

- **Aluviales:** Arrastrados por ríos y arroyos, formando terrazas, planicies aluviales y lechos de ríos.
- **De playa:** Formados en las costas, como arenas, guijarros y limos.
- **Eólicos:** Transportados por el viento, formando dunas y llanuras.
- **Glaciares:** Arrastrados y depositados por glaciares, formando morrenas y llanuras de sedimentos.

Cuencas continentales

Cuando los **sedimentos** son aportados por un **río**, la **distribución** del tamaño de los mismos dependerá del **cambio de energía** que se produce en la corriente, presentando patrones de sedimentación fuertemente asimétricos, tanto longitudinal como transversalmente.

Ec. Bernoulli, **aplicada a cauces** establece que en un **flujo constante**, la **energía total de un fluido no varía** a lo largo de su trayectoria.

E^a total = E^a potencial + E^a presión + E^a velocidad = cte.

$$E_i = zi + \frac{Pi}{\gamma} + \frac{v_i^2}{2g} = cte$$

Donde:

E_i : energía total en el punto i

Z_i : altura de posición respecto al plano de referencia

P_i : presión en mca en la sección i

γ : peso específico del líquido

v_i : velocidad media en la sección i

Cuencas continentales

Entre dos puntos, la expresión queda:

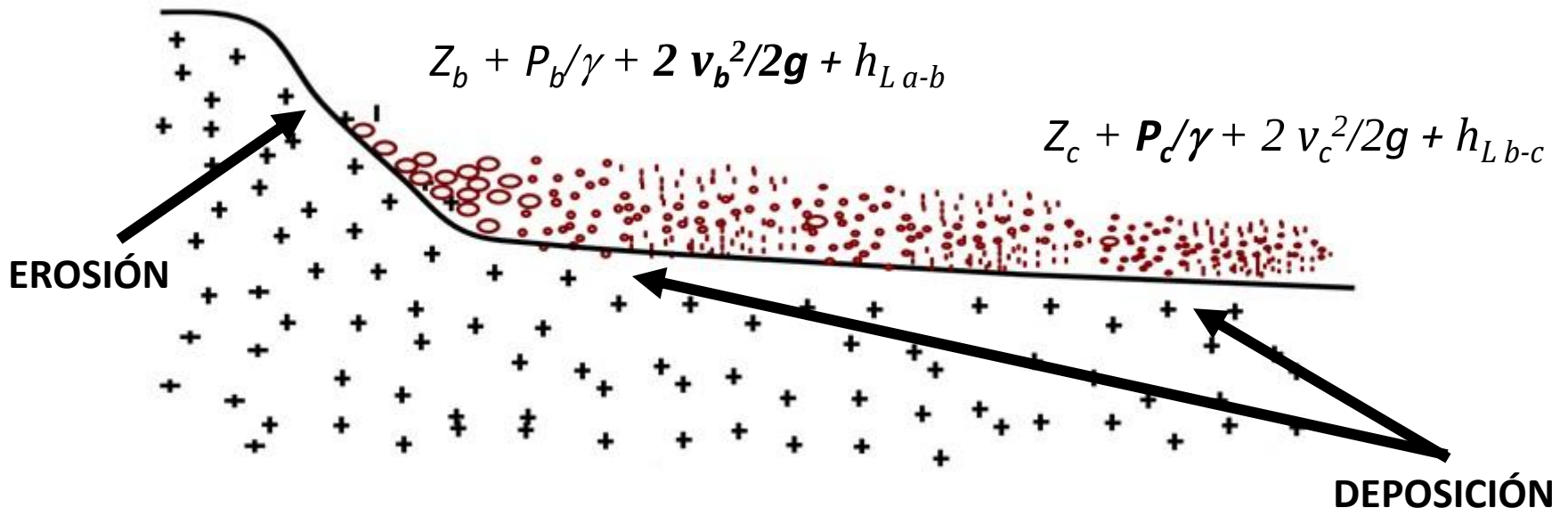
$$z_a + \frac{P_a}{\gamma} + \frac{v_a^2}{2g} = z_b + \frac{P_b}{\gamma} + \frac{v_b^2}{2g} + h_{L a-b}$$

h_L : pérdida de E^a
hidráulica por
escurrimiento

$$Z_a + P_a/\gamma + v_a^2/2g$$

$$Z_b + P_b/\gamma + 2 v_b^2/2g + h_{L a-b}$$

$$Z_c + P_c/\gamma + 2 v_c^2/2g + h_{L b-c}$$



Clasificación formaciones en función a sus propiedades acuíferas

- Porosidad
- Permeabilidad

En función de estas propiedades, las formaciones geológicas en una cuenca sedimentaria se clasifican como:

Almacena	Transmite	Formación	Ejemplo
NO	NO	Acuífugo	Granitos
SI	NO	Acuicludo	Arcillas
SI	MUY LENTO	Acuitardo	Limos
SI	SI	Acuífero	Arenas/Gravas

Clasificación formaciones en función a sus propiedades acuíferas

Acuífugo:

Formaciones geológicas que se caracterizan por ser **impermeables**, por lo tanto, **incapaz de almacenar o transmitir agua**.

Algunos ejemplos: **rocas ígneas que no están fisuradas ni fracturadas**.

Acuícludo:

Formaciones geológicas con una **elevada porosidad** pero **impermeables** al paso del agua; **el agua está atrapada y no puede salir por gravedad** por lo tanto, tienen **capacidad de almacenamiento agua** pero **no de transmitirla**.

Algunos ejemplos: **limos**.

Acuitardo:

Formaciones geológicas con **capacidad para almacenar agua**, pero que la **transmiten dificultosamente**. Son materiales porosos pero poco permeables o semipermeables.

Algunos ejemplos: **arcillas, arenas arcillosas, rocas alteradas y/o fracturadas**.

Clasificación en función a sus propiedades acuíferas

Acuífero:

Formación geológica capaz de **almacenar** y **transmitir** agua susceptible de ser explotada en cantidades económicamente apreciables para atender diversas necesidades.

Medio SEDIMENTARIO (material “suelto”; arenas, gravas)

Medio Fracturado (roca consolidada con fracturación importante)

Acuífero  Almacena y TRANSMITE



agua **NO** está estática

VELOCIDAD de circulación  **MUY LENTA** (cm/d)

ACUÍFERO

Los **acuíferos** pueden **clasificarse** siguiendo **dos criterios**:

1. En función de la **presión hidrostática** del agua contenida
2. En función del **tipo** de **porosidad**

1. En función de la presión hidrostática del agua contenida

Acuífero LIBRE: techo la superficie del terreno y base formaciones impermeables (acuicludos o acuífugos).

El agua contenida forma una superficie que está en contacto con el aire de la zona no saturada, por lo tanto, el agua se encuentra a la **presión atmosférica**. El **nivel** es **REAL**.

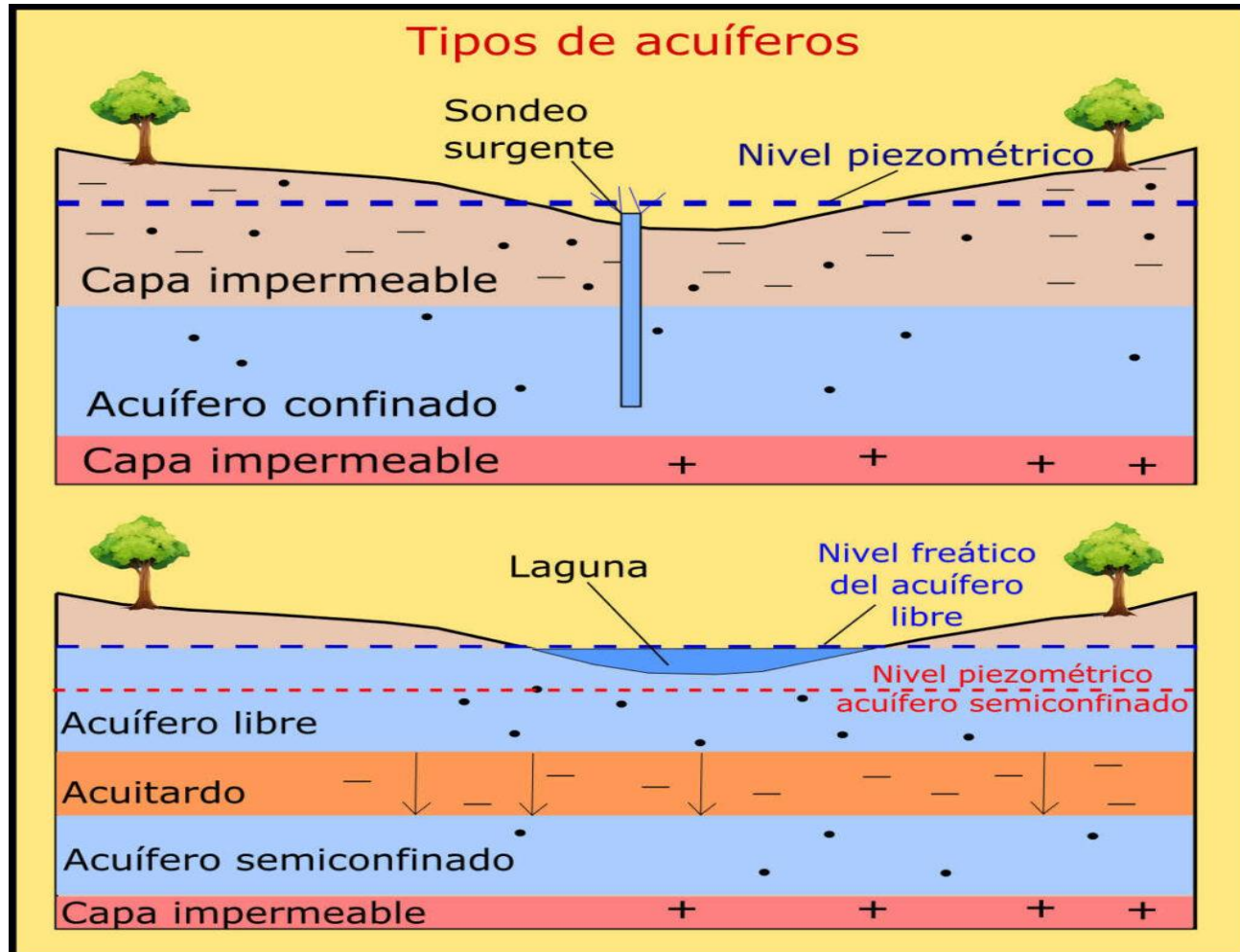
Acuífero CONFINADO: Techo y base formaciones impermeables (acuicludos o acuífugos).

El agua contenida se encuentra a una **presión mayor que la atmosférica**, función de la cota de la zona de recarga. El **nivel** es **POTENCIAL**.

Acuífero SEMICONFINADO: Base acuicluda (o acuitarda) y un techo acuitardo.

El agua contenida se encuentra a una **presión mayor que la atmosférica**, función de la cota de la zona de recarga y de la relación hidráulica con la capa suprayacente. El **nivel** es **POTENCIAL**.

ACUÍFERO



ACUÍFERO



Figura 2.1: Distribución de las formaciones geológicas intercaladas en una cuenca.

ACUÍFERO

Los acuíferos pueden clasificarse siguiendo dos criterios:

1. En función de la presión hidrostática del agua contenida
2. En función del tipo de porosidad

2. En función del tipo de porosidad

Porosidad PRIMARIA

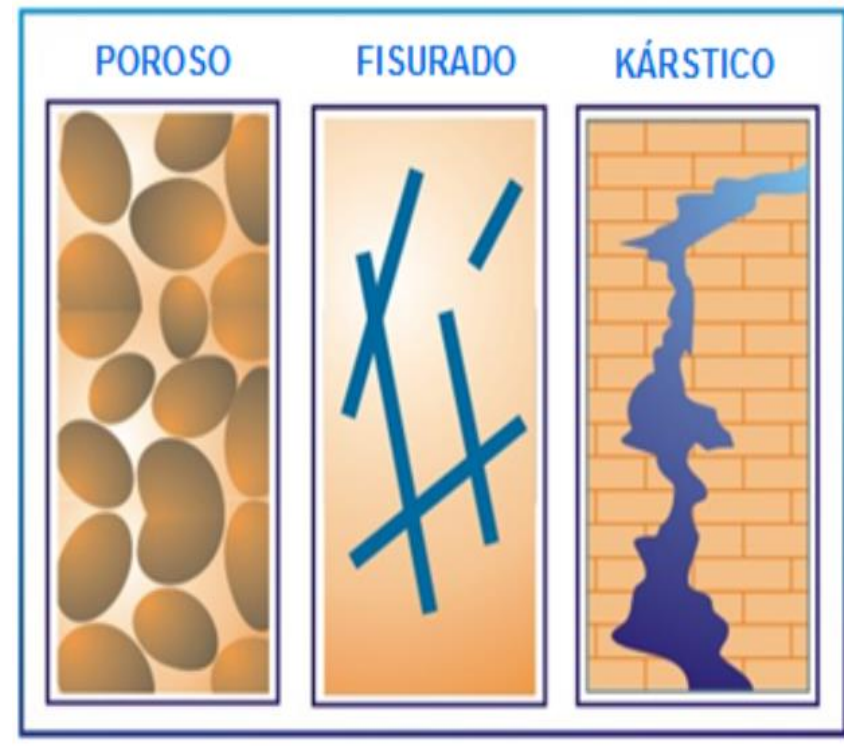
Se forma durante la depositación de los sedimentos.

- **Acuífero POROSO:** la **porosidad** es **intergranular**, en los poros que se forman entre los granos de los sedimentos depositados (arena, gravas, etc.).

Porosidad SECUNDARIA

Se forma después de la depositación de los sedimentos.

- **Acuífero FISURADO:** La **porosidad** se debe a las **grietas, fisuras y fracturas** que se forman en las rocas.
- **Acuífero KÁRSTICO:** se da en rocas calizas cuando el agua circula a través de sales solubles presentes en el acuífero. Presentan alta porosidad.

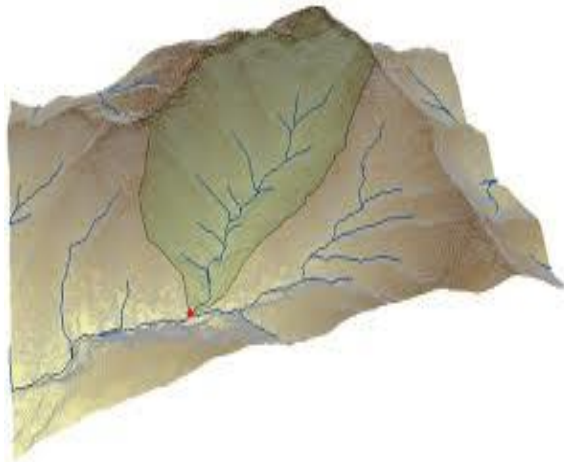


Relación Aguas Superficiales y Subterráneas

CUENCA HIDROGRÁFICA

(Cuenca hidrológica SUPERFICIAL)

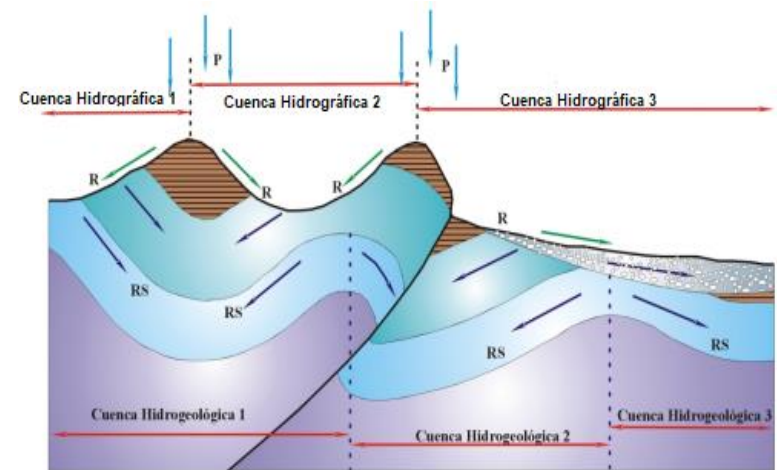
Está **definida por la topografía**. El agua precipitada se moviliza por influencia de la **gravedad** y alcanza un curso fluvial; es el dominio de las **aguas superficiales**.



CUENCA HIDROGEOLÓGICA

(Cuenca hidrológica SUBTERRÁNEA)

Su configuración y límites están **definidos por la estructura de las rocas**. Engloba exclusivamente a las **aguas subterráneas**.



CUENCA HIDROLÓGICA

Puede existir coincidencia entre la cuenca hidrográfica y la cuenca hidrogeológica, pero lo normal es que ambas sean muy diferentes entre sí.

Relación Aguas Superficiales y Subterráneas

Cuando en una cuenca hay **interacción** entre las **aguas superficiales** y las **subterráneas**, es porque existe alguna **conexión** entre la **cuenca hidrológica** y la **cuenca hidrogeológica**.

Esta situación tiene mucha **importancia** en los estudios relacionados con el **balance hídrico** en una región cualquiera.

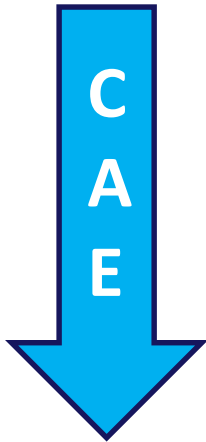
Cuando en una región determinada (principalmente en las regiones áridas y semiáridas) no ha precipitado en mucho tiempo, un curso fluvial puede continuar transportando agua superficial por las siguientes razones:

- Nieve o hielo fundiéndose en algunos sectores de la cuenca hidrológica.
- Almacenamiento superficial (lagos naturales y embalses artificiales).
- Almacenamiento en cuerpos de agua subterráneos (acuíferos).

FUENTES DE RECARGA DE LAS CUENCAS

PRECIPITACIÓN (P)

Cualquier agua meteórica recogida sobre la superficie terrestre.



Líquida

- Lluvia
- Niebla
- Rocío

Sólida

- Nieve (diferida)
- Granizo

Cuenca Hidrográfica

Define el **RÉGIMEN HIDROLÓGICO** de la cuenca

- época de crecida
- época de estiaje

Es un **fenómeno** de tipo **discontinuo** y su **distribución** tanto en el **espacio** como en el **tiempo** es sumamente **variable**.

FUENTES DE RECARGA DE LAS CUENCAS

¿Cómo se cuantifica P?

La precipitación caída en un punto se puede cuantificar mediante un **PLUVIÓMETRO**.

PLUVIÓMETRO

Recipiente graduado que colecta la precipitación caída en un determinado punto o lugar. Midiendo la altura de agua ingresada al recipiente se puede cuantificar la cantidad de agua caída (lámina).

La lectura del agua recogida se efectúa una vez al día o después de cada evento de lluvia.



La **unidad de medida** es el **mm** (litros/m²)

Si la **precipitación** la referimos a un **intervalo de tiempo**: **intensidad de precipitación** (mm/hora)

FUENTES DE RECARGA DE LAS CUENCAS

En lugares de difícil acceso ➡ **Pluviómetro totalizador**

- colector de mayor capacidad.
- intervalos amplios de tiempo (hasta un año).
- sustancias que evitan la evaporación (por ejemplo vaselina).
- sustancias que ayudan a la fusión de la nieve (cloruro de calcio).
- **instalación en espacios abiertos; libres de obstáculos.**



FUENTES DE RECARGA DE LAS CUENCAS

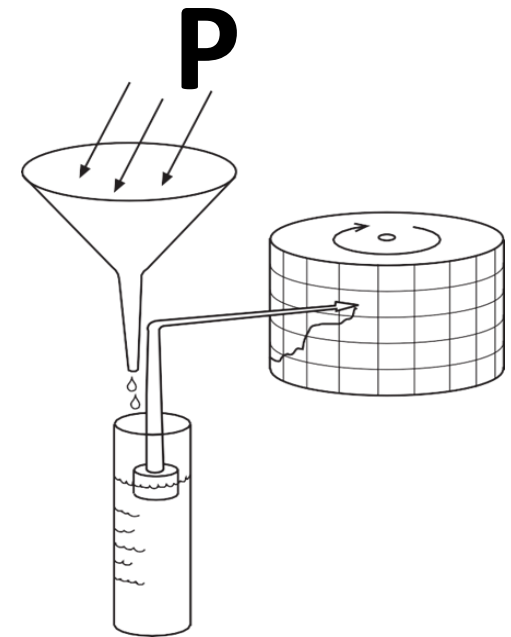
En general, una medida al día de la precipitación puede ser suficiente, pero en muchas ocasiones se necesita un registro continuo del fenómeno.

100 mm caídos a lo largo de todo el día $\neq$ 100 mm caídos en una hora

Registrar la evolución de la precipitación con el tiempo

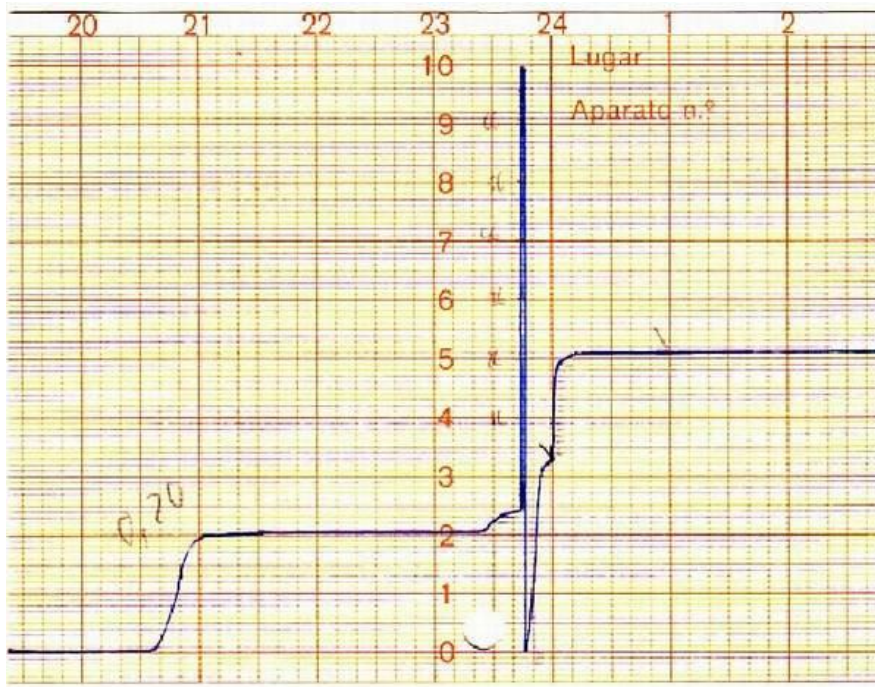


PLUVIÓGRAFO



Dispositivo con un embudo conectado a un recipiente mediante un sifón. El agua de lluvia ingresa y mientras llena el recipiente, desplaza un flotante solidario con una pluma que marca un papel graduado enrollado sobre un tambor que da una vuelta cada determinado tiempo (24 horas /una semana).

PLUVIÓGRAFO



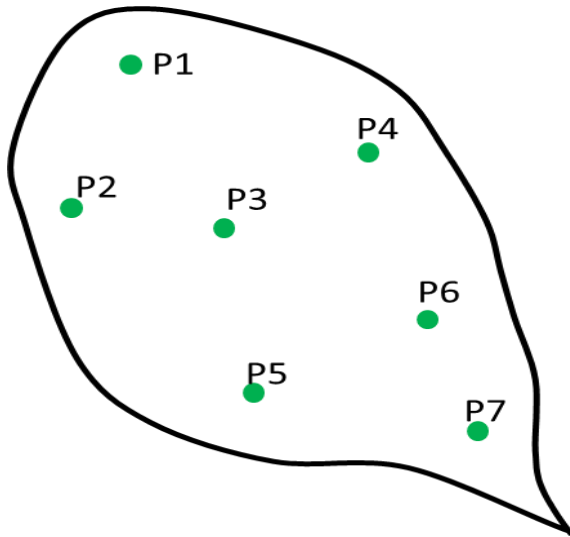
El registro puede ser con tinta y papel o digital

¿Cómo se calcula P para el balance?

Métodos

1. de la media aritmética
2. de los polígonos de Thiessen
3. de las curvas Isohietas

1. Método de la media aritmética



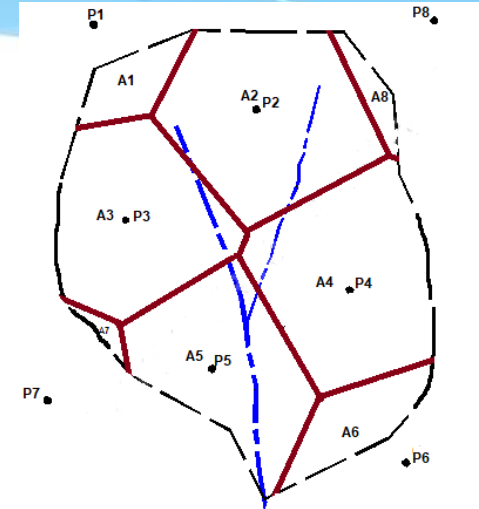
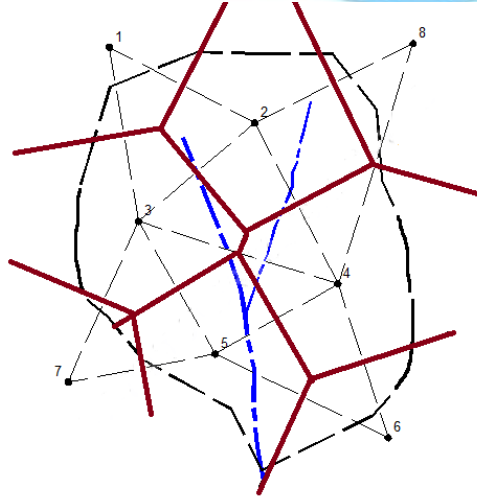
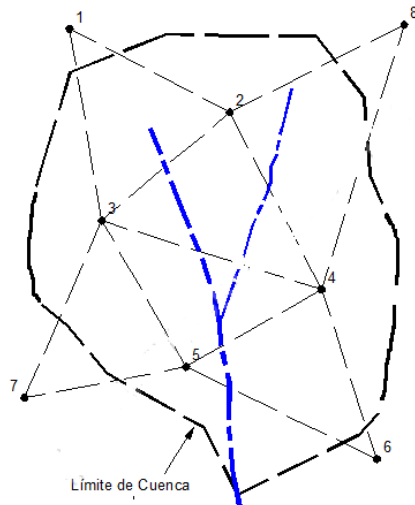
$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}$$

Estación	Pi (mm/mes)
P1	105
P2	100
P3	110
P4	98
P5	102
P6	100
P7	96
<i>Pmedia</i>	101,6

Sirve cuando:

- distribución uniforme de P dentro de la cuenca.
- el área de la cuenca es bastante plana.
- la variación de las medidas pluviométricas entre las estaciones es pequeña.

2. Método de los polígonos de Thiessen

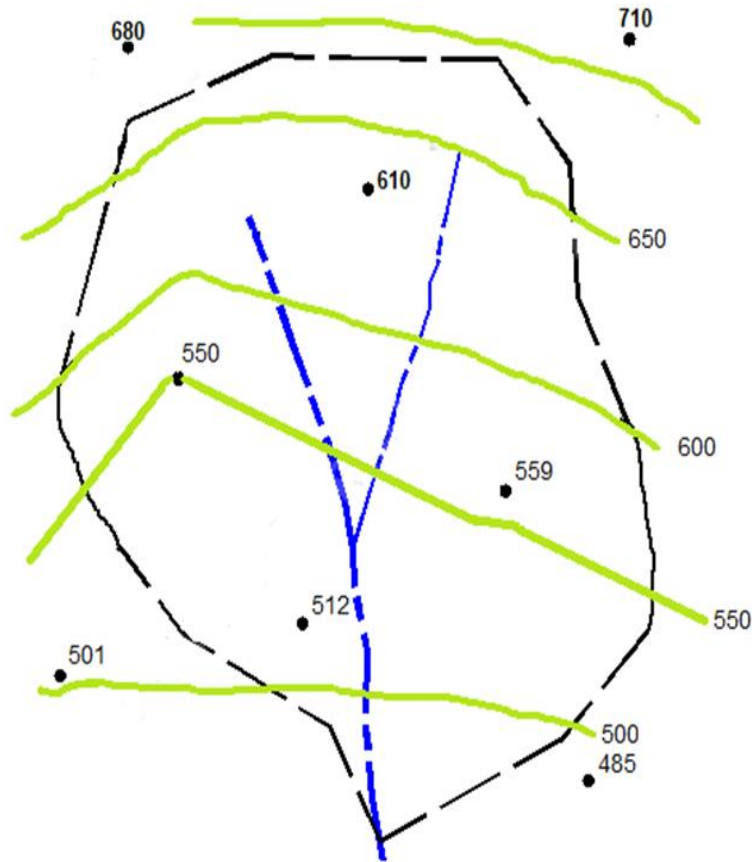


- Puede utilizar para una distribución no uniforme de estaciones .
- Área de cuenca aproxim. plana, pues no considera influencias orográficas.

Estación	P _i (mm/mes)	A _i (km ²)
1	105	25
2	100	120
3	110	105
4	98	150
5	102	110
6	100	46
7	96	5
8	107	15
<u>P_{media}</u>	102,3	A _T =576,0

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i A_i}{A_T}$$

3. Método de las curvas Isohietas



- Se basa en el trazado de curvas de igual precipitación de la misma forma que se hace para estimar las curvas de nivel de un levantamiento topográfico.
- Es el **método más preciso**
- Permite la consideración de los efectos orográficos en el cálculo de la lluvia media sobre la cuenca en estudio.

$$P = \frac{\sum_{j=1}^m [(P_j + P_{j+1})/2] A_j}{\sum_{j=1}^m A_j}$$

Respuesta de un curso fluvial a las precipitaciones

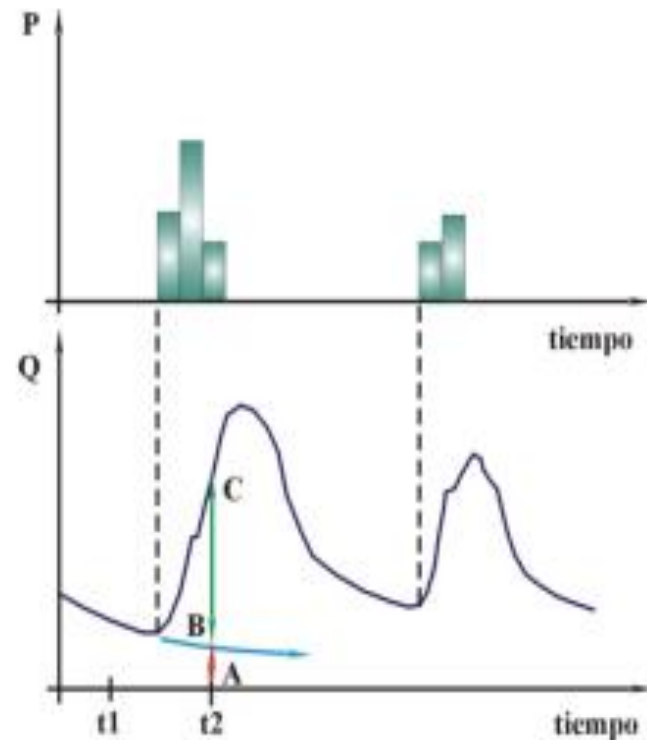
En el instante t_1 todo el caudal del curso fluvial se debe al **Escorrimento Básico** (en este caso es el escurrimiento subterráneo).

$$Q_{(t1)} = EB$$

En el instante t_2 , parte del caudal Q (el segmento AB) será debido al **Escorrimento Básico** y otra parte (el segmento BC) será debido al **Escorrimento Directo**, que es la respuesta rápida del río a la precipitación.

$$Q_{(t2)} = EB + ED$$

$$Q_{(t2)} = \overline{AB} + \overline{BC}$$

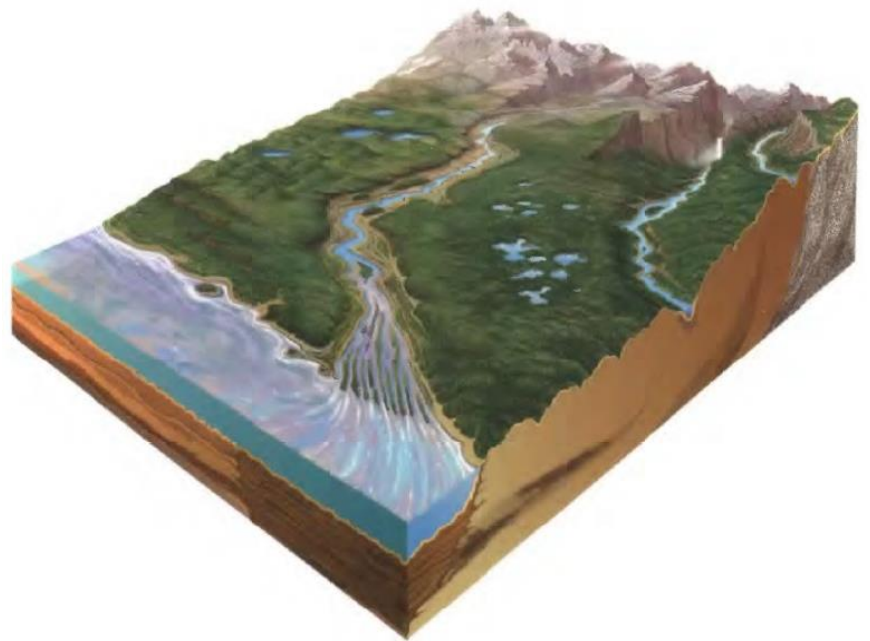


Relación entre aguas superficiales y subterráneas

Suposición implícita de que los sistemas de aguas superficiales y subterráneas actúan de forma independiente.

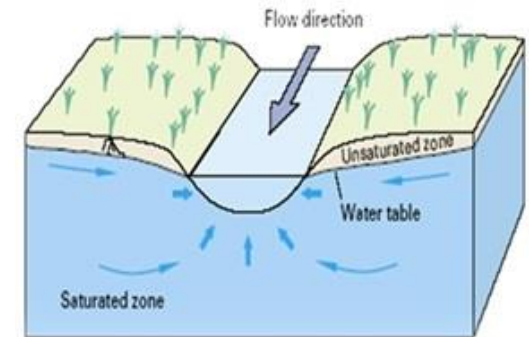
Una **entrada o salida** de los **sistemas de aguas subterráneas** resulta de la **interacción agua superficial/agua subterránea**:

- infiltra agua superficial desde ríos y lagos hacia los acuíferos.
- fluye agua subterránea desde los acuíferos hacia los cuerpos de agua superficial por filtraciones y manantiales.



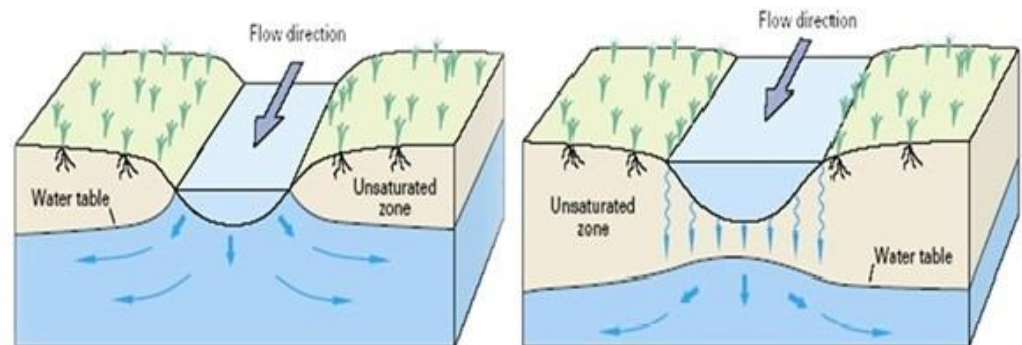
Relación entre aguas superficiales y subterráneas

Si el **nivel freático** se encuentra por **encima** del lecho del cuerpo de agua hay un flujo neto de agua subterránea hacia el agua superficial; se dice que el **cuerpo de agua superficial** es **ganador o efluente** (recibe agua subterránea).



Río GANDOR o EFLUENTE

Si el **nivel freático** se encuentra por **debajo** del cuerpo de agua superficial, la carga hidráulica en el cuerpo de agua superficial es mayor que en el sistema de agua subterránea y el agua se filtrará hacia el acuífero; se dice que el **cuerpo de agua superficial** es **perdedor o influente** (drena agua superficial).



Río PERDEDOR o INFLUENTE

Relación entre aguas superficiales y subterráneas

Manantial

Un manantial es el desagüe o salida de agua desde un reservorio subterráneo (una surgencia natural) en un punto concreto de la superficie del terreno.

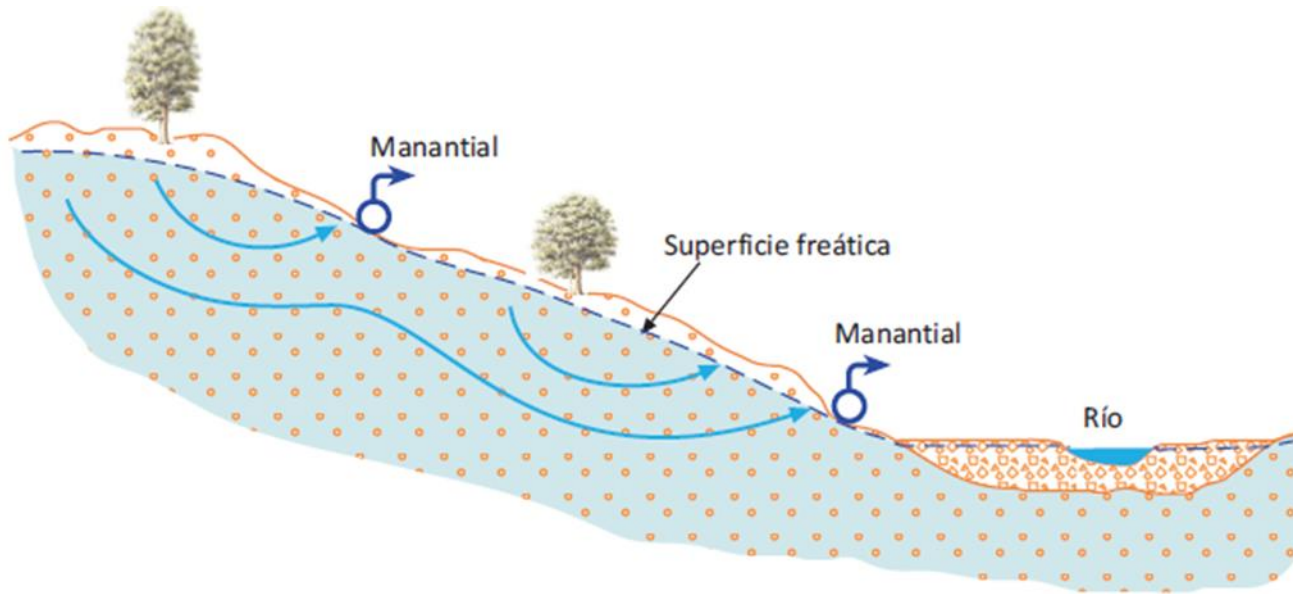
Podemos establecer una primera diferenciación entre los manantiales:

- **alimentados por un acuífero libre**
- **alimentados por un acuífero confinado**



Relación entre aguas superficiales y subterráneas

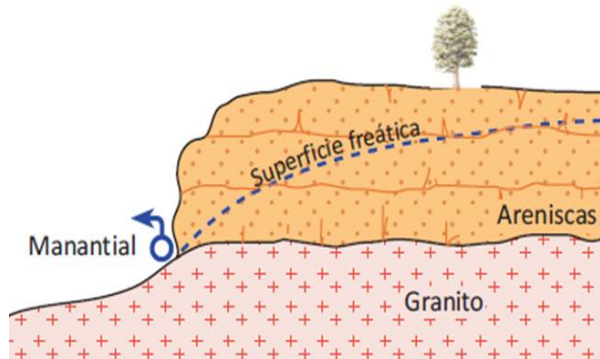
En **formaciones geológicas homogéneas**, si existe un acuífero libre superficial, se produce un manantial cuando la superficie del terreno corta la superficie freática.



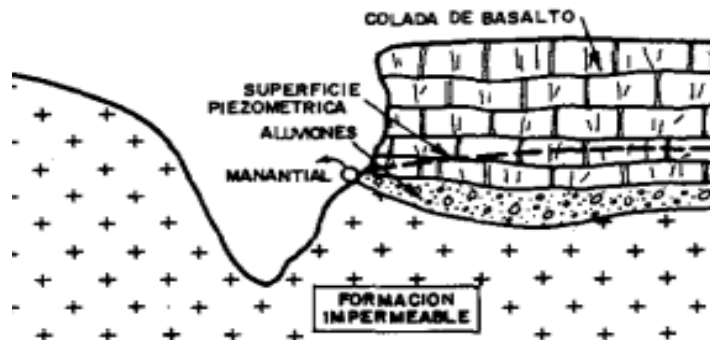
Relación entre aguas superficiales y subterráneas

En **formaciones heterogéneas**, la ubicación del manantial viene determinada:

1) en el contacto entre una roca permeable y una impermeable.



2) a través de una fractura en un acuífero confinado.



Medición de caudales

La **medición de caudales** en ríos (**aforo**) es la determinación del volumen de agua que fluye a través de una sección transversal del río, en un período de tiempo determinado.

La unidad más común para expresar el caudal es el **metro cúbico por segundo** (m^3/s), para ríos con **grandes caudales**.

También se utilizan otras unidades, como el **litro por segundo** (l/s) para **caudales más pequeños**.

Existen varios métodos para medir el caudal, que se pueden clasificar en **directos** o **indirectos**.

Métodos directos:

- Método volumétrico
- Método de velocidad-área (molinete)
- Método con flotadores
- Aforos con ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)
- Aforos químicos

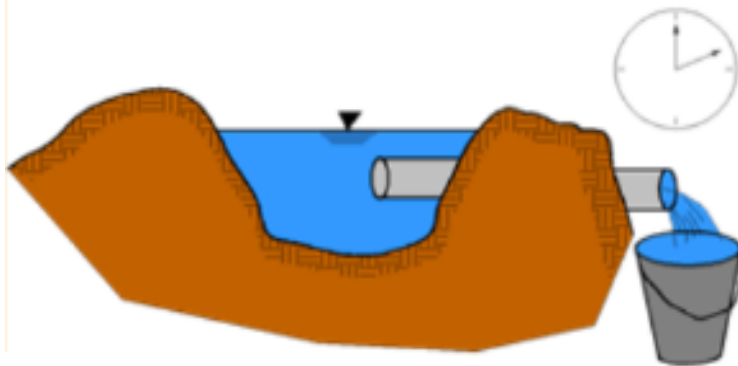
Métodos indirectos:

- Escalas limnimétricas
- Vertederos o presas

Método volumétrico

Es la forma más sencilla para realizar el cálculo de **caudales pequeños**.

Consiste en desviar el agua hacia un caño o un canal que descarga en un recipiente de volumen conocido y medir el tiempo que demora en llenarse.



$$Q = \frac{V}{t}$$



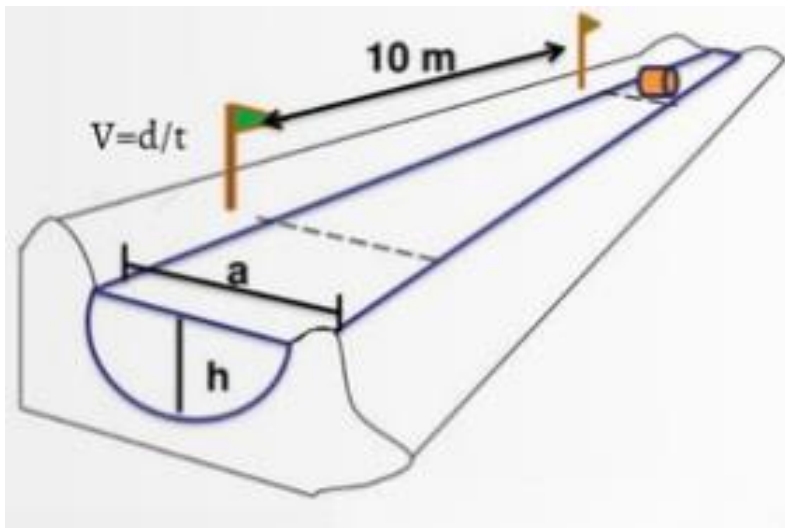
Q = caudal (l/s)

V = volumen del recipiente (l)

t = tiempo promedio (s)

Método del flotador

Consiste en registrar la velocidad del agua superficial midiendo el tiempo que demora un flotador en recorrer una distancia conocida y determinando la sección transversal del cauce.



$$Q = V \times A$$

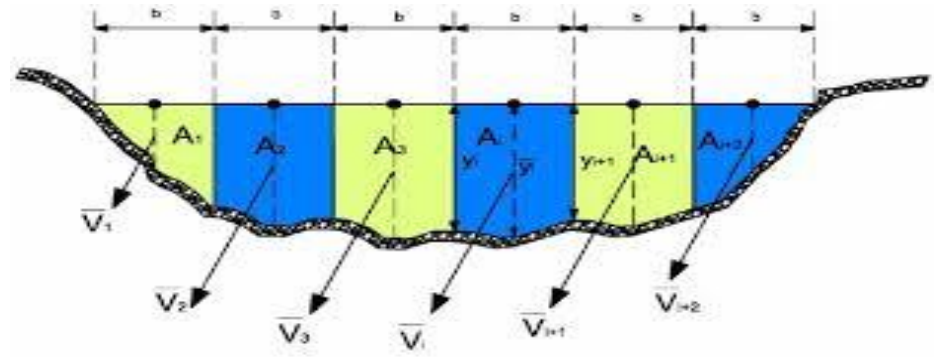
Q = caudal (m^3/s)

V = velocidad superficial (m/s)

A = área de la sección transversal (m^2)

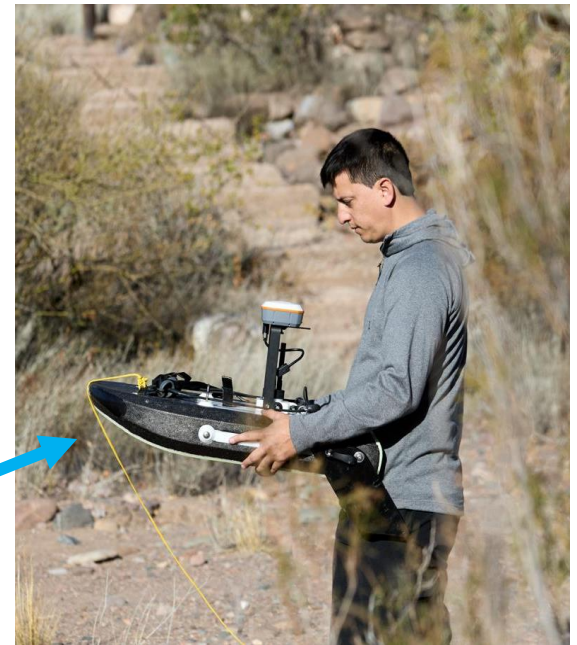
Método de velocidad – área (molinete)

Se mide la velocidad de la corriente en varios puntos de la misma vertical y en varias verticales de la sección del cauce. A la vez que se miden las velocidades se mide la profundidad en cada vertical y el ancho exacto del cauce, lo que nos permite establecer la sección con bastante precisión.



Aforo con ADCP– área

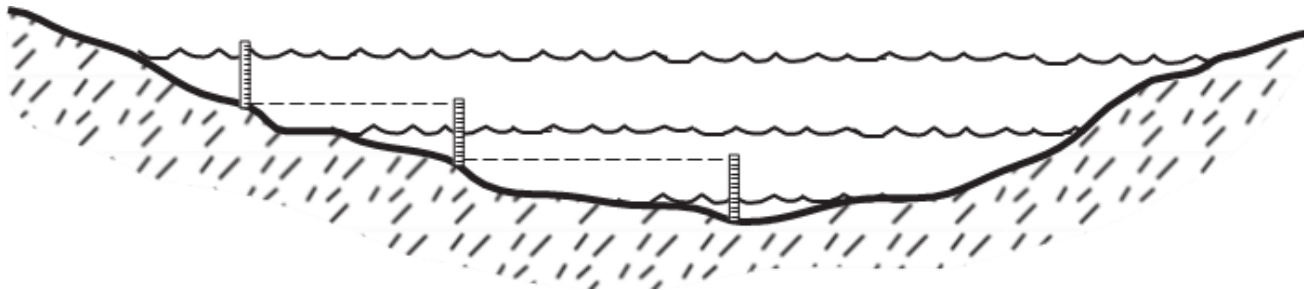
Los dispositivos **A**coustic **D**oppler **C**urrent **P**rofiler (ADCP) utilizan ondas sonoras para medir la **velocidad** y la **profundidad** del agua, lo que permite calcular el caudal.



Escalas limnimétricas

Escalas graduadas en centímetros y firmemente sujetas en el suelo (adidasas al pilar de un puente o a la pared de un canal).

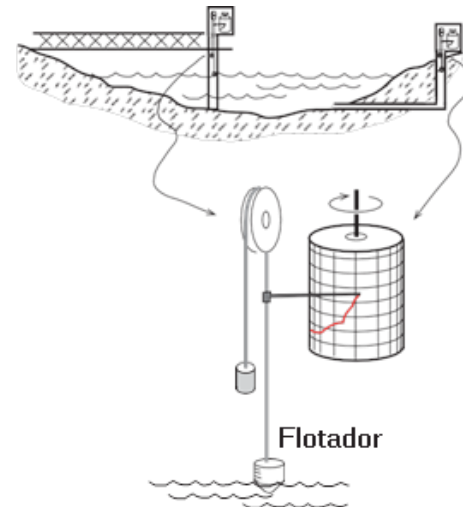
En cauces muy abiertos puede ser necesario instalar varias escalas de manera que el final de una corresponda al comienzo de la siguiente.



Limnógrafo

Miden el nivel, guardando un registro gráfico o digital del mismo a lo largo del tiempo. El gráfico que proporcionan (altura del agua en función del tiempo) se denomina **limnigrama**.

Permiten apreciar la evolución del caudal de un modo continuo.



Escalas limnimétricas

Canal de distribución



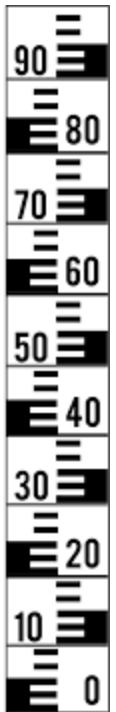
Estación limnimétrica



Radar

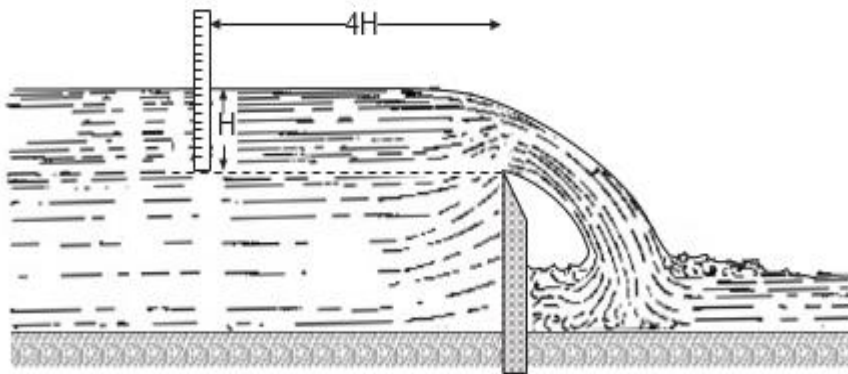


Escala
limnimétrica



Vertederos o Presas

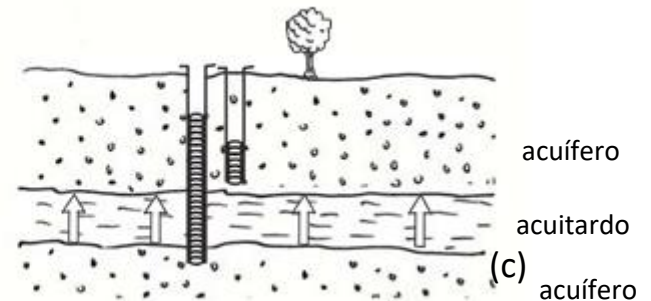
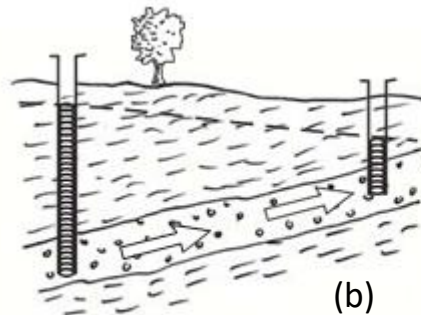
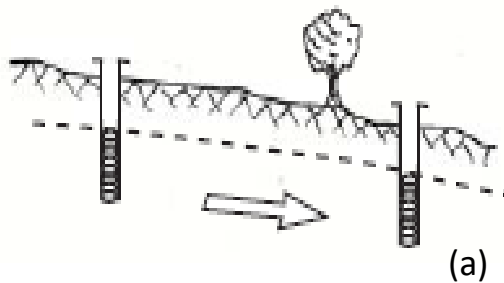
Un vertedero es cualquier estructura transversal a la corriente que eleva el nivel aguas arriba y permite la circulación a través de una abertura de forma triangular, trapezoidal o rectangular



Variaciones de niveles

Intuitivamente, pensamos que el **agua circula** de los **puntos más altos** hacia los **puntos más bajos**; como las aguas superficiales.

Muchas veces esto se cumple en las aguas subterráneas (a).



Pero, es **frecuente** que el agua subterránea **circule hacia arriba** (b), incluso **verticalmente hacia arriba** (c).

Es decir que, el agua circula desde los **puntos** en los que la **columna de agua** es **más alta** hacia aquellos en los que es **más baja**.

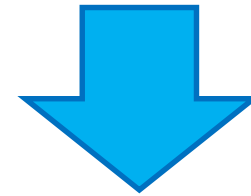
En realidad, el agua se mueve de los **puntos** en los que tiene **más energía** hacia aquellos en los que tiene **menor energía**.

Variaciones de niveles

Para una unidad de masa de agua

$$E^a \text{ mec} = E^a \text{ pot} + \cancel{E^a \text{ cin}} + E^a \text{ pres} = E^a \text{ tot}$$

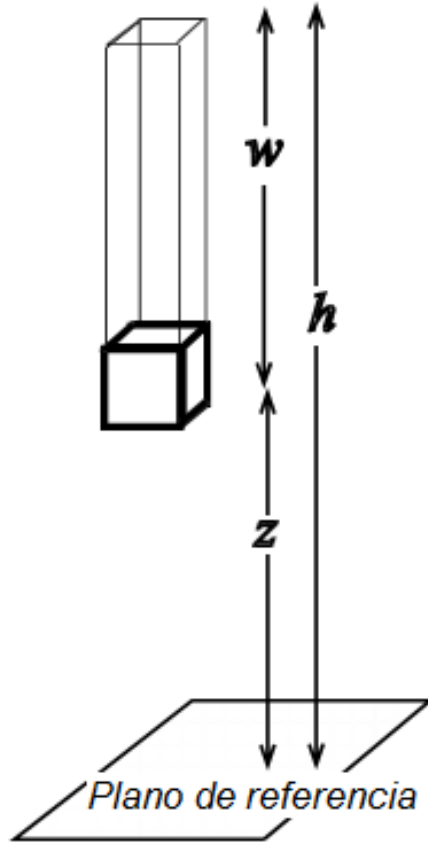
$$E^a \text{ tot} / \delta = E^a \text{ total por unidad de masa}$$



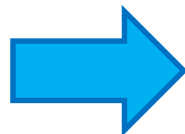
$$\Phi = h \cdot g$$

POTENCIAL HIDRÁULICO

La energía total por unidad de masa (agua) se denomina **potencial hidráulico** y es igual a la **altura de la columna de agua** (respecto del nivel de referencia considerado) **multiplicada por la aceleración de la gravedad**.



$g \approx \text{cte}$

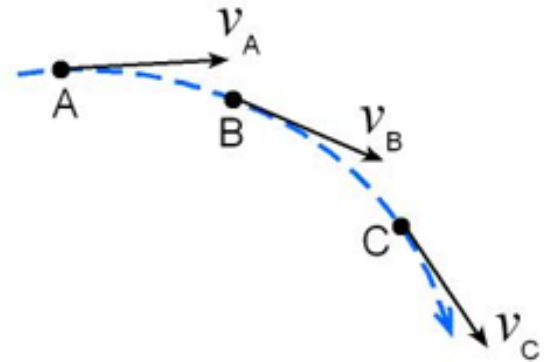


La **altura de la columna de agua** refleja la variación del **POTENCIAL HIDRÁULICO**

Líneas de flujo

Una molécula de agua que circula por un acuífero se desplaza con una cierta velocidad y siguiendo una determinada trayectoria.

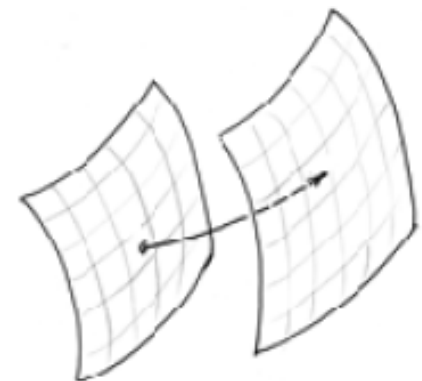
Una **línea de flujo** es la envolvente de los vectores velocidad en un instante determinado.



Superficies equipotenciales

Una superficie equipotencial es el **lugar geométrico** de los **puntos** del espacio que tienen un **mismo potencial hidráulico**.

Puede presentar cualquier forma y disposición.

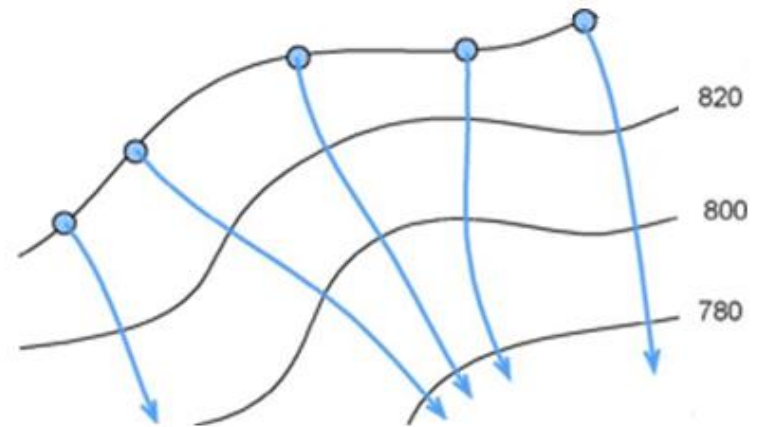


La **dirección** de una **línea de flujo** es **perpendicular** a la **superficie equipotencial**.

Líneas de flujo

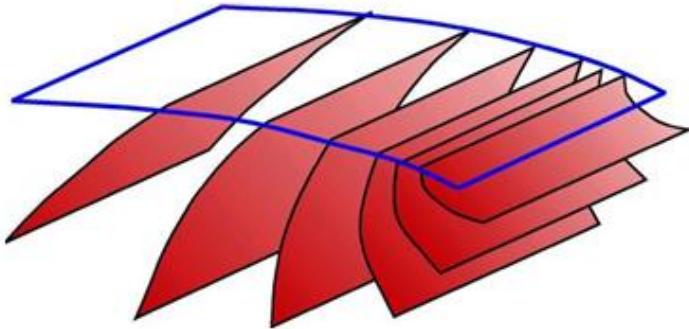
¿Porqué la **dirección** de una **línea de flujo** es **perpendicular** a una línea equipotencial (**superficie equipotencial**)?

Si en este mapa topográfico ubicamos unas pelotitas en los círculos y las soltamos, el camino que seguirían ladera abajo sería el de la máxima pendiente; por lo tanto perpendicular a las curvas de nivel.



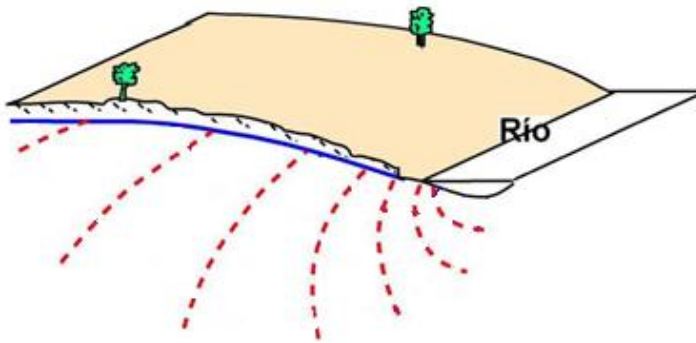
Por el mismo motivo, en una red de flujo una **gota de agua** sigue el máximo gradiente hidráulico y circula **perpendicular** a las **líneas equipotenciales**.

Redes de flujo

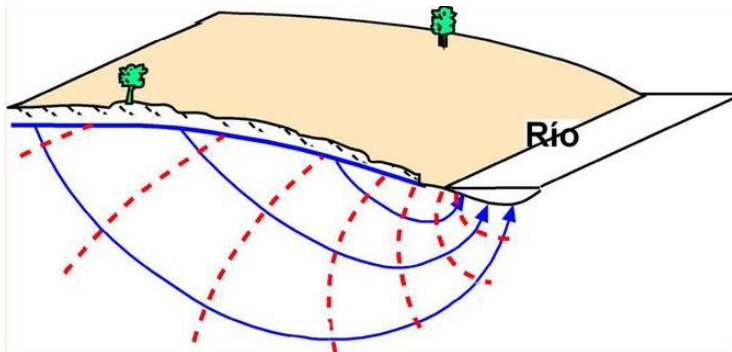


Superficies equipotenciales 3D

Superficies equipotenciales que podrían existir debajo de una ladera, suponiendo que la distribución de la permeabilidad en el subsuelo fuera isótropa y homogénea.



Representaciones 3D muy difíciles de manejar en casos reales.
Se utilizan representaciones 2D.

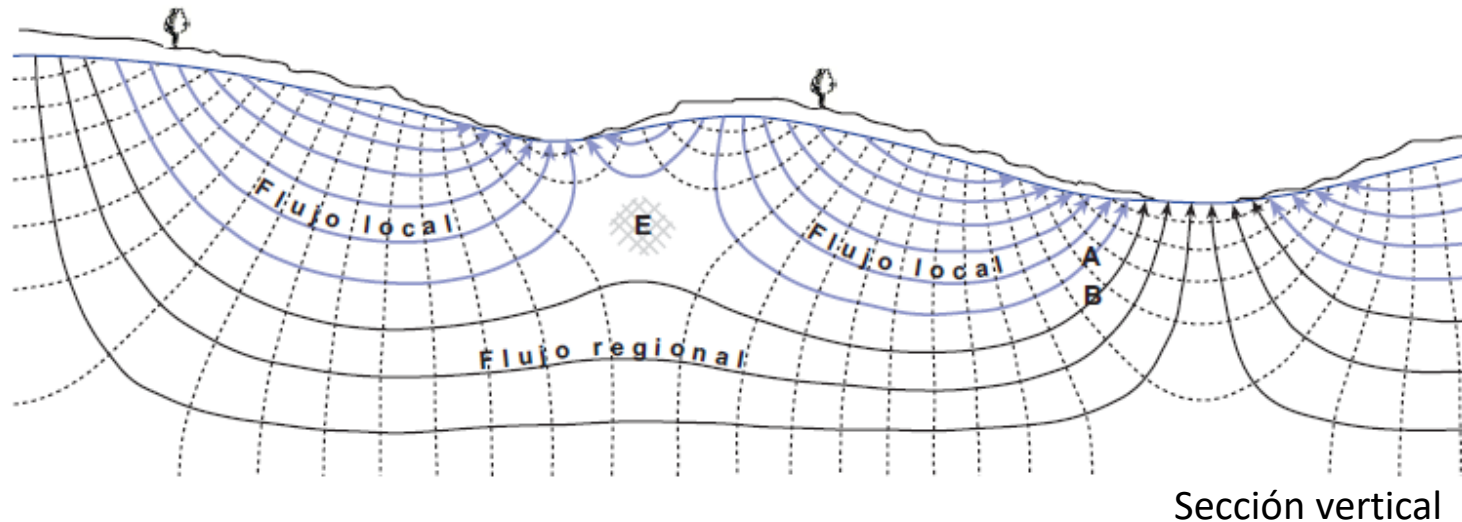


Red de flujo

Es una **representación esquemática** del flujo en un plano mediante líneas de flujo (azul) y líneas equipotenciales (rojo).

Áreas naturales de recarga y descarga

El **flujo natural** del agua subterránea en una **región** también se puede **esquematizar** mediante **redes de flujo** (suponiendo el **subsuelo homogéneo e isótropo**).



Flujos locales y regionales

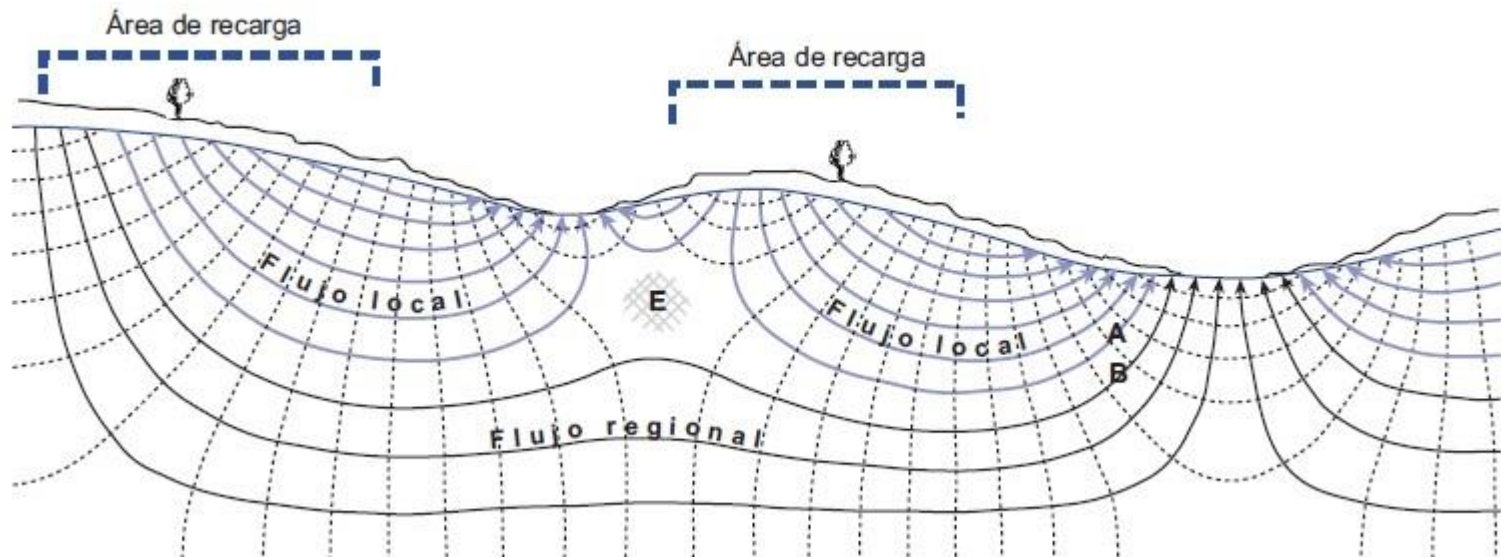
La **diferencia** es relativa y **depende** de la **escala** que se considere.

- **Flujos locales:** asociados a valles de menor extensión.
- **Flujos regionales:** asociados a valles principales de gran extensión (región).

Áreas naturales de recarga y descarga

Recarga:

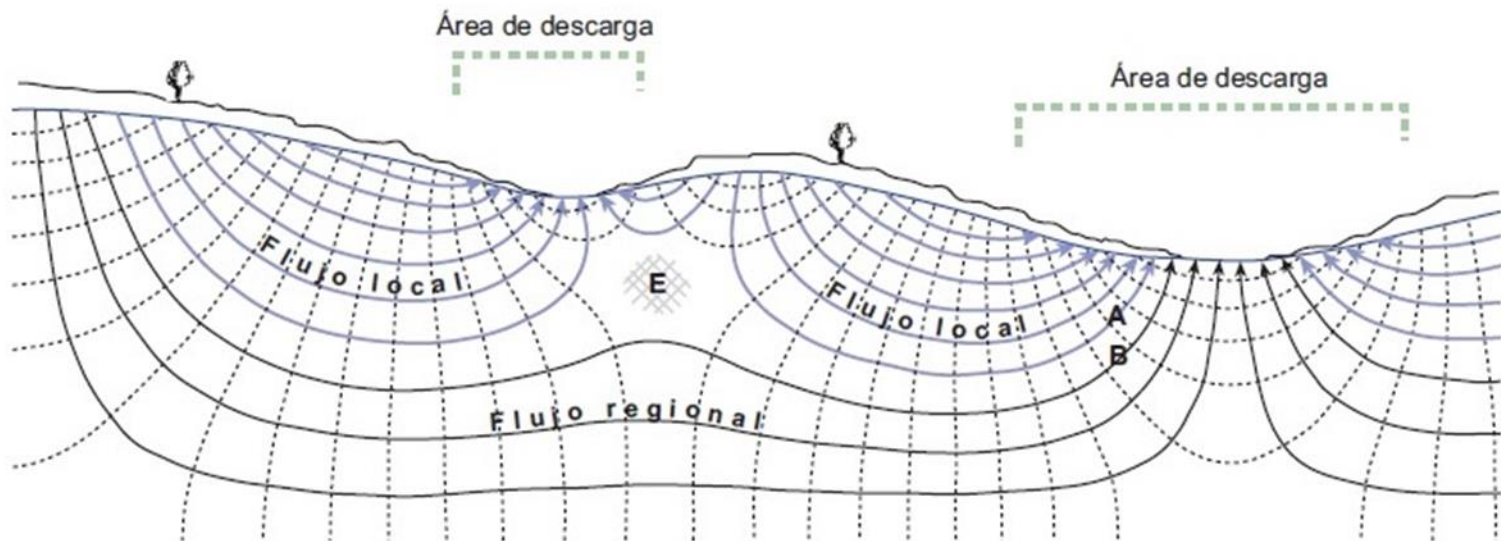
- Se produce principalmente por la **infiltración** de agua de **lluvia, ríos, lagos** y otras **fuentes superficiales**.
- Las zonas de recarga suelen ubicarse en áreas con **suelos permeables, topografía elevada** y clima húmedo.
- La **recarga es esencial para mantener los acuíferos** y asegurar el suministro de agua subterránea.



Áreas naturales de recarga y descarga

Descarga:

- Puede ocurrir a través de **manantiales, ríos, lagos, humedales**, o incluso a través de la evaporación y la transpiración de las plantas (evapotranspiración).
- Las zonas de descarga suelen encontrarse en las **áreas más bajas** de la cuenca hidrográfica, como llanuras o zonas costeras.
- La descarga es importante para el **equilibrio hidrológico** del ecosistema y para el **abastecimiento de agua a cuerpos de agua superficiales**.

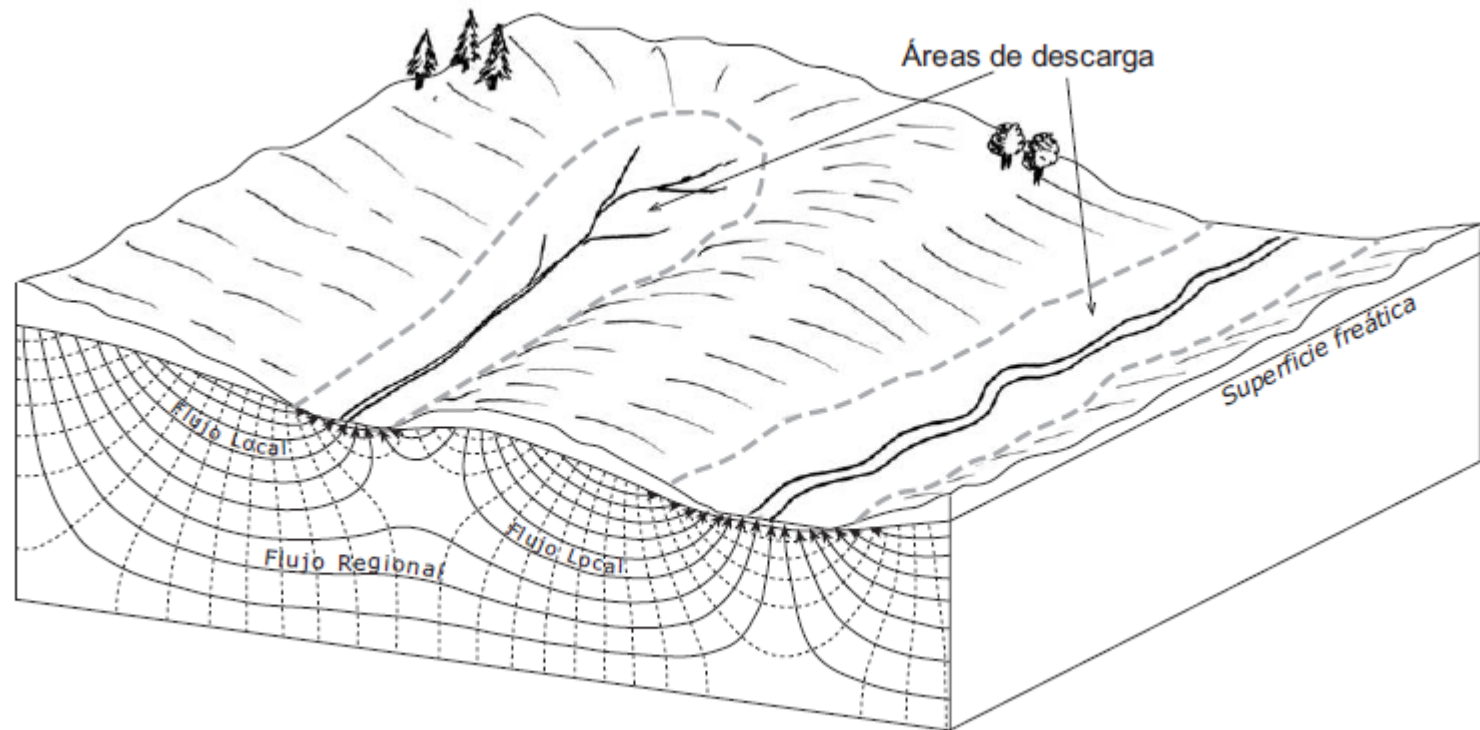


Áreas naturales de recarga y descarga

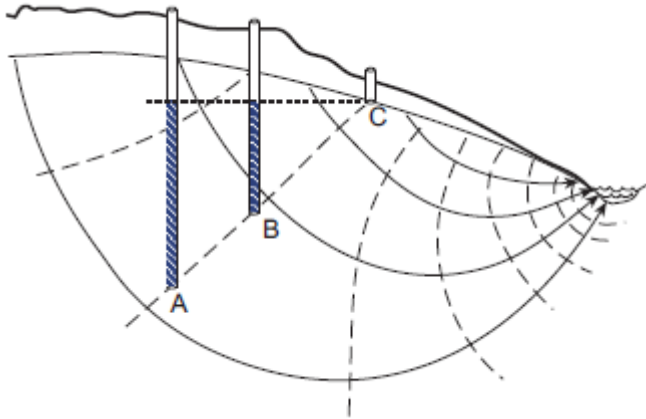
RECARGA es el proceso de **entrada** de agua al acuífero.

DESCARGA es el proceso de **salida** de agua del acuífero.

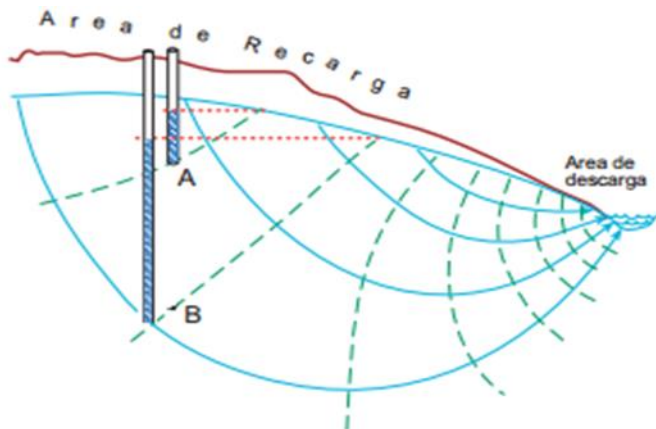
Una **sección vertical** pertenece a una realidad **tridimensional**.



Áreas naturales de recarga y descarga



El **punto C** representa un **pozo abierto** en la misma **superficie freática** y sirve de referencia para marcar la altura del agua en los **sondeos abiertos** en sus extremos **A y B**; en ellos el **agua sube hasta la altura de C**, ya que **los tres puntos tienen el mismo potencial hidráulico**.

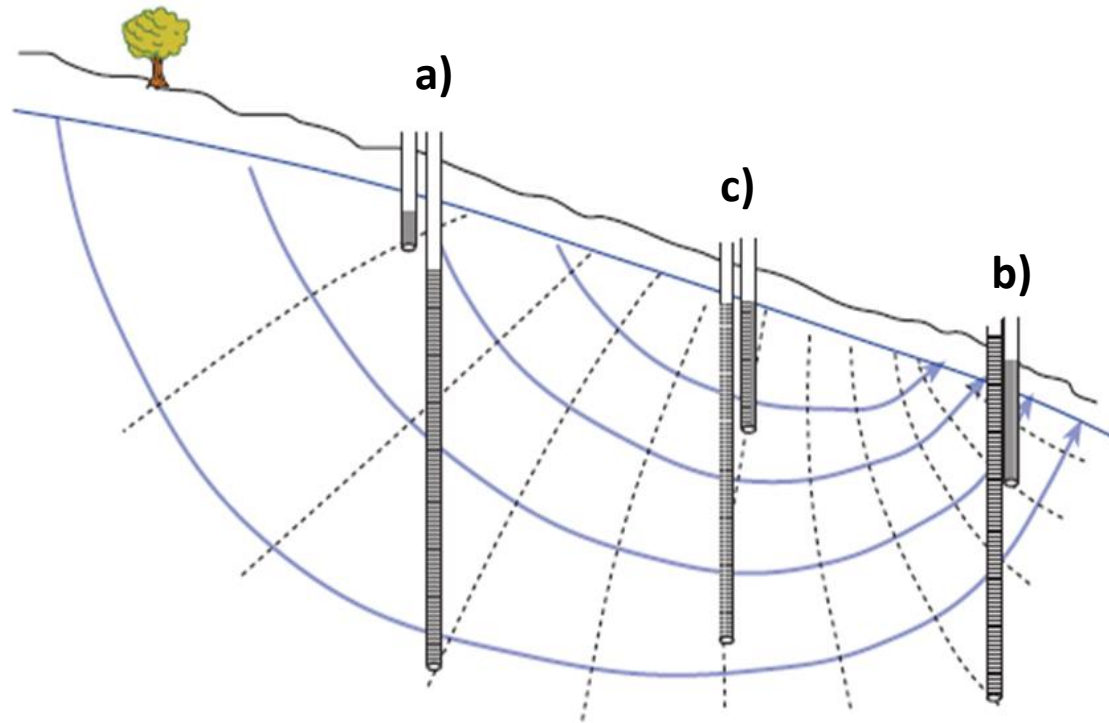


Dos **piezómetros** abiertos en **dos puntos** en la **misma vertical**, pero en **líneas equipotenciales distintas**.

El **nivel del tubo A** sube **más arriba** que el **nivel de B**. **A** está abierto en una **superficie de mayor potencial** que el tubo **B**.

Áreas naturales de recarga y descarga

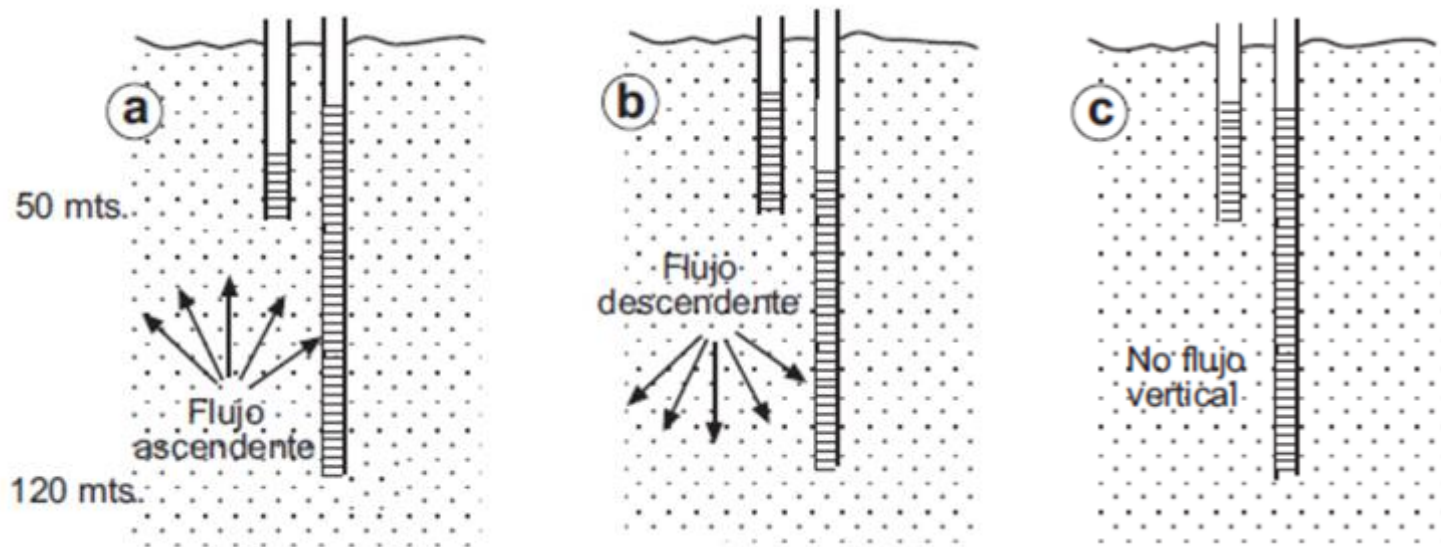
Consideremos **tres parejas de sondeos** muy próximos abiertos en un **área de recarga**, en un **área de descarga** y en una **zona intermedia**, respectivamente.



La **comparación** de los **niveles** de **dos sondeos próximos** nos **permite identificar** el **área** (**recarga, descarga o intermedia**).

Áreas naturales de recarga y descarga

Para saber si nos encontramos en una **zona de descarga** (flujo con componente **vertical ascendente**), de **recarga** (flujo con componente **vertical descendente**) o zona intermedia (**flujo subterráneo horizontal**), hay que medir el nivel en **dos sondeos próximos** abiertos a **diferente profundidad**.



- a) el **potencial hidráulico** en el **pozo profundo** es **mayor** que en el pozo somero; **flujo** tendrá una componente **ascendente**.
- b) el **potencial hidráulico** en el **pozo somero** es **mayor** que en el pozo profundo; el **flujo** tendrá una componente vertical **descendente**.
- c) los **potenciales** en el pozo somero y en el pozo profundo son **similares**; **no** existiría **flujo vertical**.

Mapas de niveles

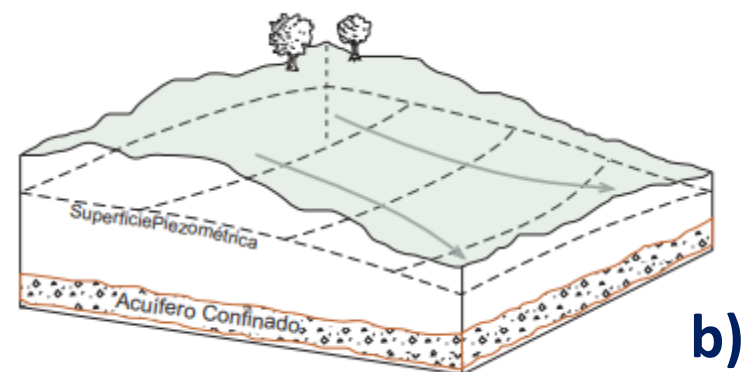
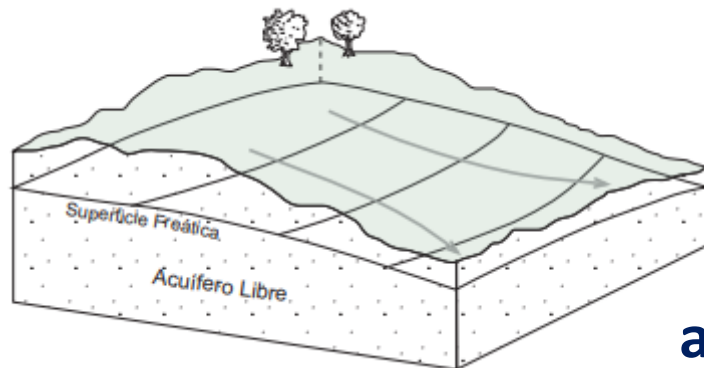
Estas parejas de piezómetros nos indican la componente **vertical** del flujo. Para conocer la componente **horizontal** hay que comparar los niveles en varios **sondeos de profundidad similar y distantes entre sí**.

Mapa de isopiezas



El mapa de isopiezas **representa** la **forma de:**

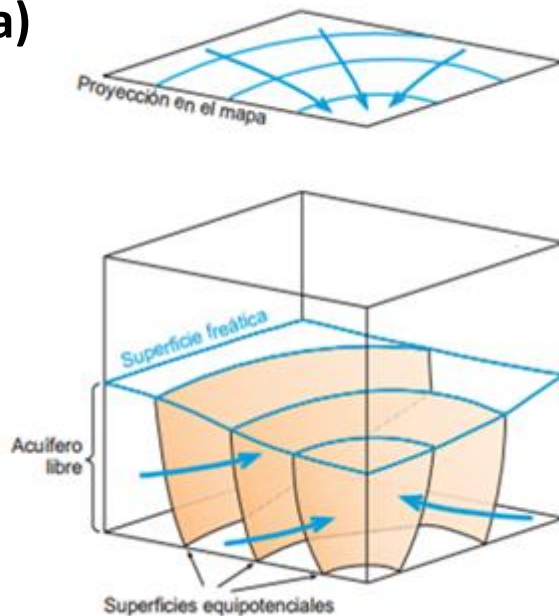
- a) la **superficie freática** de un acuífero libre
- b) la **superficie piezométrica** de un acuífero confinado



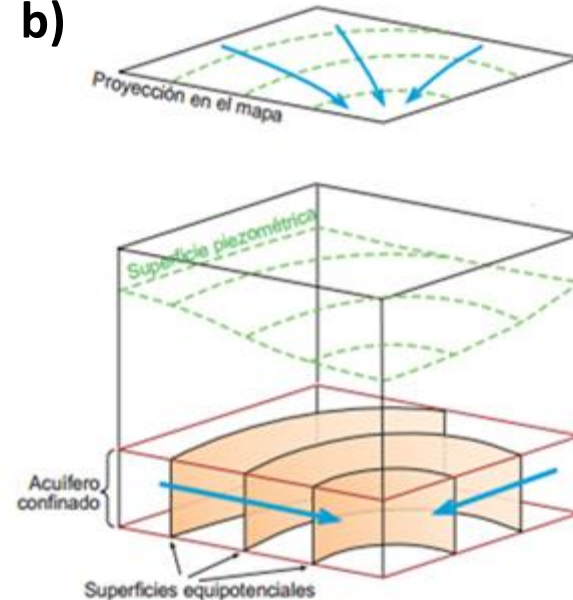
Mapas de niveles

- a) **Acuífero libre:** las líneas isopiezas son las intersecciones de las superficies equipotenciales con la superficie freática (REAL)
- b) **Acuífero confinado:** las superficies equipotenciales están **dentro** del acuífero, mientras que la superficie piezométrica con sus curvas isopiezas se encuentra varios metros por encima

a)



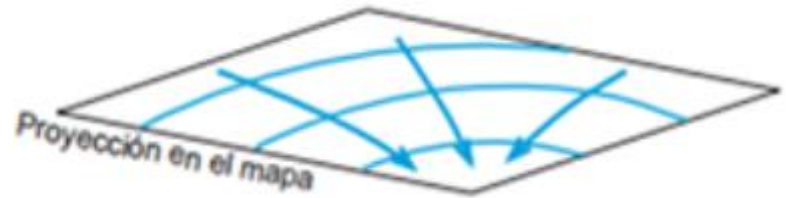
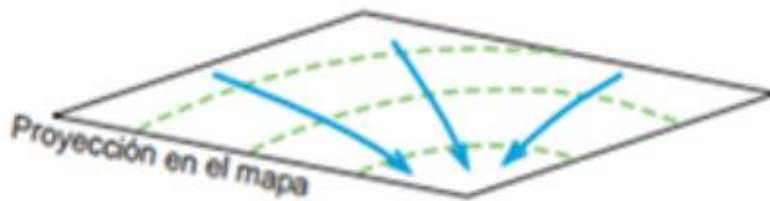
b)



Mapas de niveles

Mapa: es la **representación del flujo tridimensional sobre un plano horizontal.**

En ambos casos del esquema anterior, se generan **mapas idénticos** de isopiezas.



Acuífero confinado:

Superficies equipotenciales son verticales.

El flujo es horizontal.

Representación de la realidad 3D sobre dos dimensiones:

El mapa de isopiezas NO implica pérdida de información del flujo en el acuífero.

Acuífero libre:

Superficies equipotenciales no son verticales.

El flujo no es horizontal.

Representación de la realidad 3D sobre dos dimensiones:

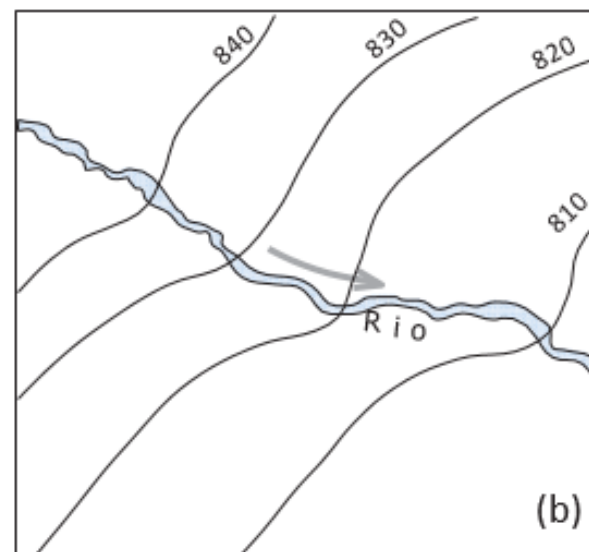
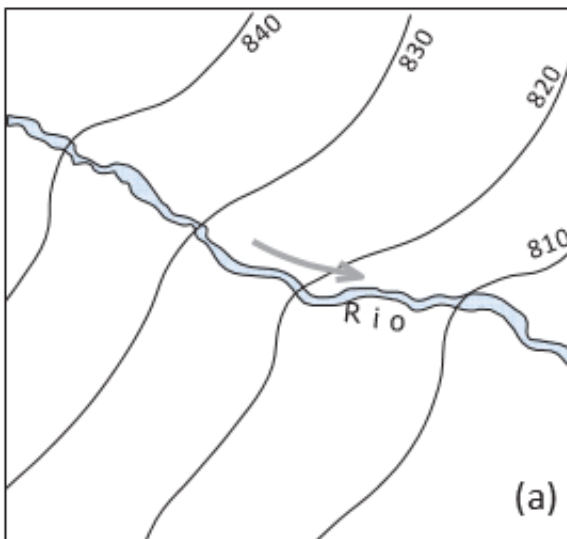
El mapa de isopiezas refleja solamente la componente horizontal del flujo.

Mapas de niveles

Si en la zona representada en el mapa existe un río, la forma de las isopiezas se verán afectadas por el cauce.

La superficie piezométrica de un acuífero superficial tendrá:

- a) Forma de **valle** bajo un **río efluente o ganador** (acuíf. descarga agua en el río)
- b) Forma de **pico** bajo un **río influente o perdedor** (acuíf. recibe agua del río)



Cómo realizar un mapa de isopiezas

Todos los **pozos (piezómetros)** deben estar abiertos en el **mismo acuífero**.

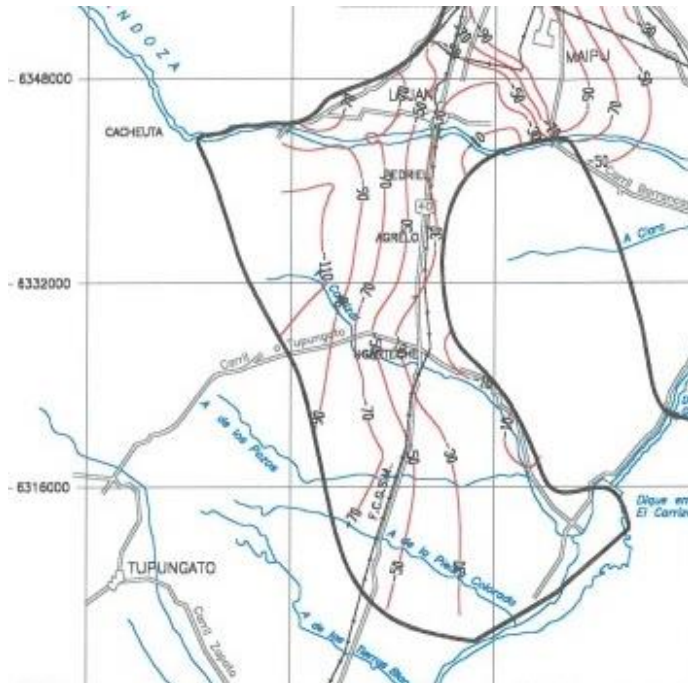
1. Medir el nivel piezométrico (profundidad) en la mayor cantidad de puntos (pozos) posibles.



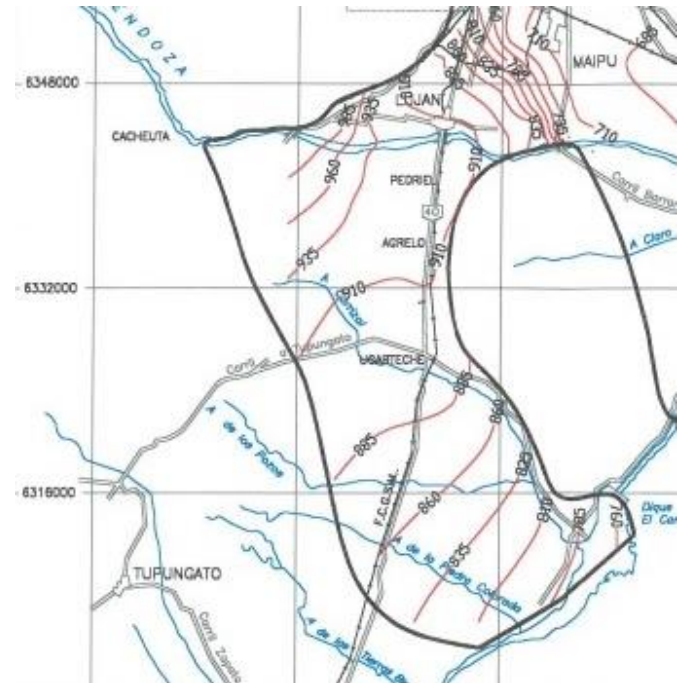
2. Obtener la **cota** del nivel del agua (cota del terreno menos la profundidad del agua).

Cómo realizar un mapa de isopiezas

3. Situar sobre un **mapa georreferenciado** todas las **medidas** (profundidad y cotas) y trazar las **isolíneas** con una **equidistancia determinada** (fn. de la escala del mapa, de la cantidad de datos disponibles y de la variabilidad de éstos).



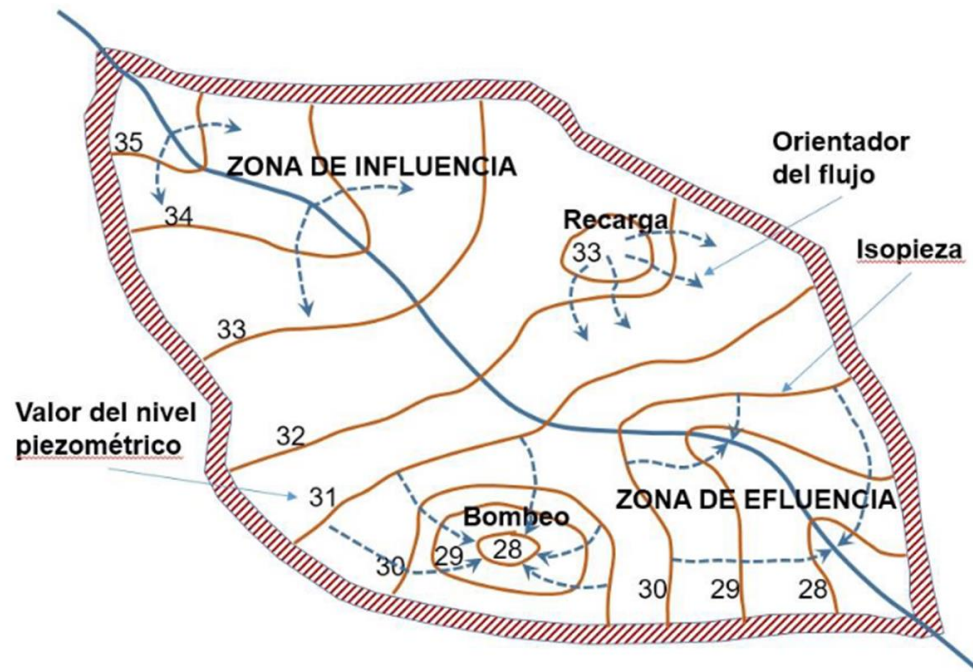
Igual PROFUNDIDAD: Isopiezas RELATIVAS



Igual COTA: Isopiezas ABSOLUTAS

Cómo realizar un mapa de isopiezas

4. Dibujar las líneas de flujo perpendiculares a las isopiezas (generalmente se dibujan sólo algunas líneas de flujo para indicar las direcciones de éste).



Corte esquemático de una cuenca hidrogeológica



Corte esquemático de una cuenca hidrogeológica



