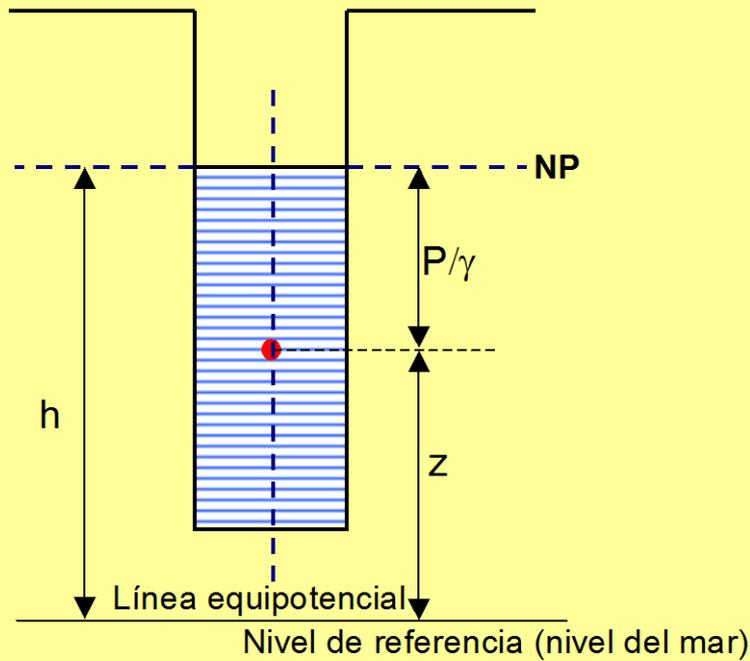


HIDROGEOLOGÍA

UNIDAD 2. HIDRODINAMICA (PARTE III)

TEMA: ESTUDIO DE LA PIEZOMETRÍA Y BALANCE HÍDRICO

Profesor: José Luis Expósito Castillo
2015



PN = Profundidad de nivel (m)
NP = Nivel piezométrico (m)

Piezometría es el estudio de los niveles piezométricos de un acuífero

Superficies piezométricas

Lugar geométrico de los puntos que señalan la altura piezométrica de cada una de las porciones de un acuífero referidas a una determinada profundidad. Se las representa mediante líneas de igual altura piezométrica, llamadas **líneas isopiezas**.

Estudio de la piezometría

- Variaciones naturales. Cíclicas (estacionales, de corta duración). Accidentales. Factores: precipitación, evapotranspiración, mareas.
- Variaciones artificiales. Intervención del hombre. Factores: recarga, bombeos.

Medidas de nivel piezométrico

Puntos de observación: pozos, piezómetros, zanjas, manantiales, salidas a ríos,...

Precisión: nivel del cm. Depende del tipo de acuíferos y del objetivo perseguido.

Simultaneidad. Niveles estático y dinámico. Nivel de referencia.

Las medidas piezométricas pueden ser:

- Instantáneas
- Continuas no registradas
- Continuas registradas

Medidas de nivel piezométrico

Puntos de observación: pozos, piezómetros, zanjas, manantiales, salidas a ríos,...

Precisión: nivel del cm. Depende del tipo de acuíferos y del objetivo perseguido.

Simultaneidad. Niveles estático y dinámico. Nivel de referencia.

Las medidas piezométricas pueden ser:

- Instantáneas

Las medidas piezométricas *instantáneas* se realizan mediante la denominada "sonda de nivel" que se basan en la observación de la profundidad del agua mediante el cierre de un circuito eléctrico cuando un elemento detector establece contacto con el agua. Constan de electrodo, cable eléctrico y detector.

Otro tipo de sonda es por flotador. Consiste en un cable metálico en cuyo extremo se coloca un flotador que, al contacto con la superficie del agua provoca pérdida de tensión en el cable y el accionamiento de un sistema de frenado. Presenta serios inconvenientes de uso.



Medidas de nivel piezométrico

Puntos de observación: pozos, piezómetros, zanjas, manantiales, salidas a ríos,...

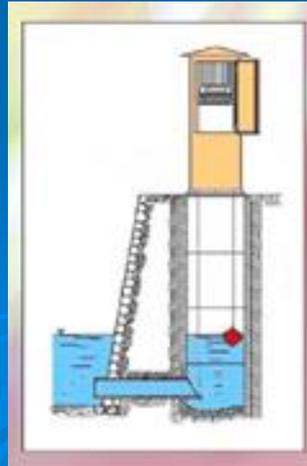
Precisión: nivel del cm. Depende del tipo de acuíferos y del objetivo perseguido.

Simultaneidad. Niveles estático y dinámico. Nivel de referencia.

Las medidas piezométricas pueden ser:

- Continuas no registradas

Las medidas *continuas no registradas* se llevan a cabo mediante "limnímetros" que se instalan en los pozos de observación. Constan de un sistema de flotador y contrapeso que debe estar bien calibrado para las oscilaciones previstas del nivel. Da buen resultado para profundidades no muy elevadas.



POCO USO EN LA ACTUALIDAD

Medidas de nivel piezométrico

Puntos de observación: pozos, piezómetros, zanjas, manantiales, salidas a ríos,...

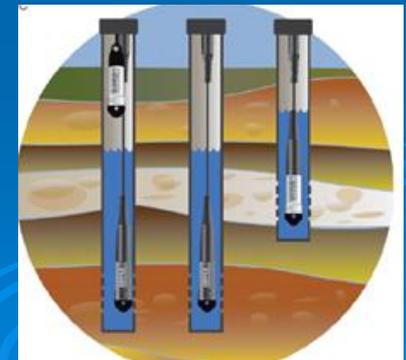
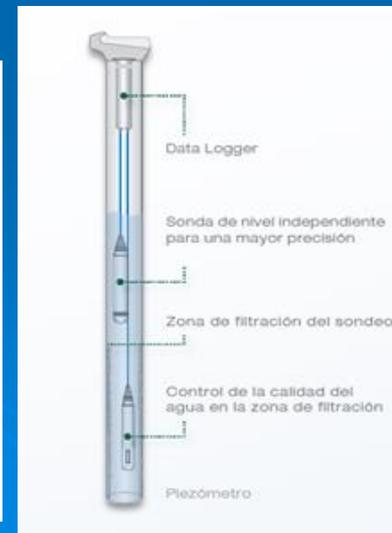
Precisión: nivel del cm. Depende del tipo de acuíferos y del objetivo perseguido.

Simultaneidad. Niveles estático y dinámico. Nivel de referencia.

Las medidas piezométricas pueden ser:

- Continuas registradas

La máxima sofisticación de estos instrumentos se obtiene mediante un registrador que almacena los datos y que permite el tratamiento informativo de los registros. Incluso, es posible utilizar una emisora que envía los datos a tiempo real hasta el centro receptor.



Próxima medición del nivel estático del Acuífero de Vizcaíno: Conagua

- El mismo trabajo se efectúa periódicamente en los 39 acuíferos de la entidad.



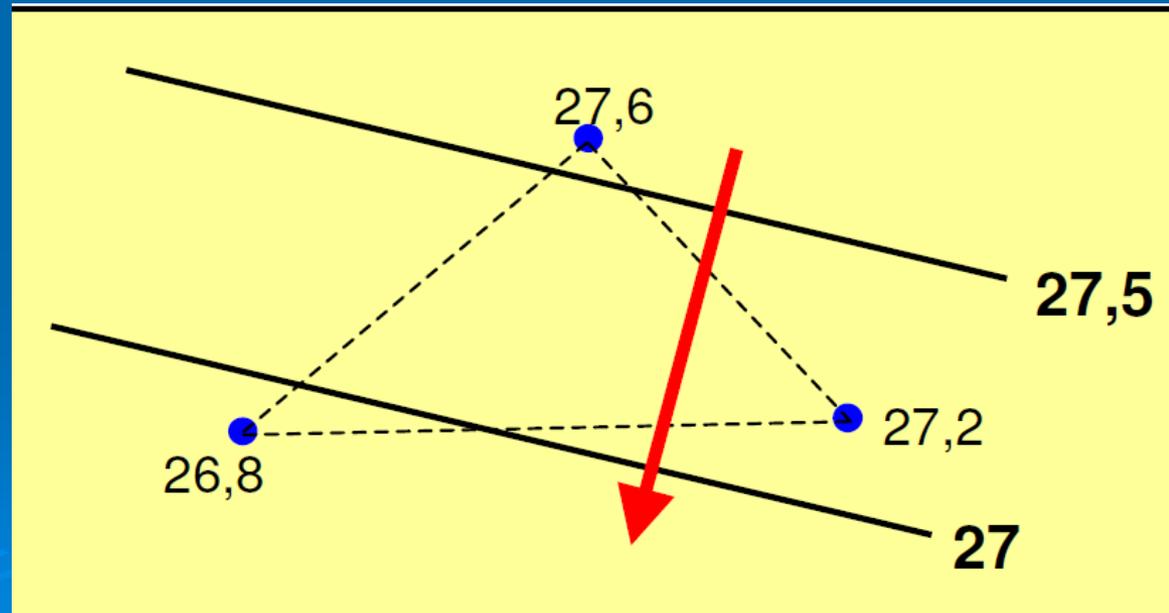
Al indicar que del 18 al 20 del presente mes de enero, tendrán lugar la piezometría del Acuífero de Vizcaíno en el norte del municipio de Mulegé, el Director Local de la Comisión Nacional del Agua en Baja California Sur, Ing. Israel Camacho Gastelum, comentó que la medición de los niveles estáticos, se lleva a cabo periódicamente en los 39 acuíferos existentes en la entidad.

Mapas piezométricos

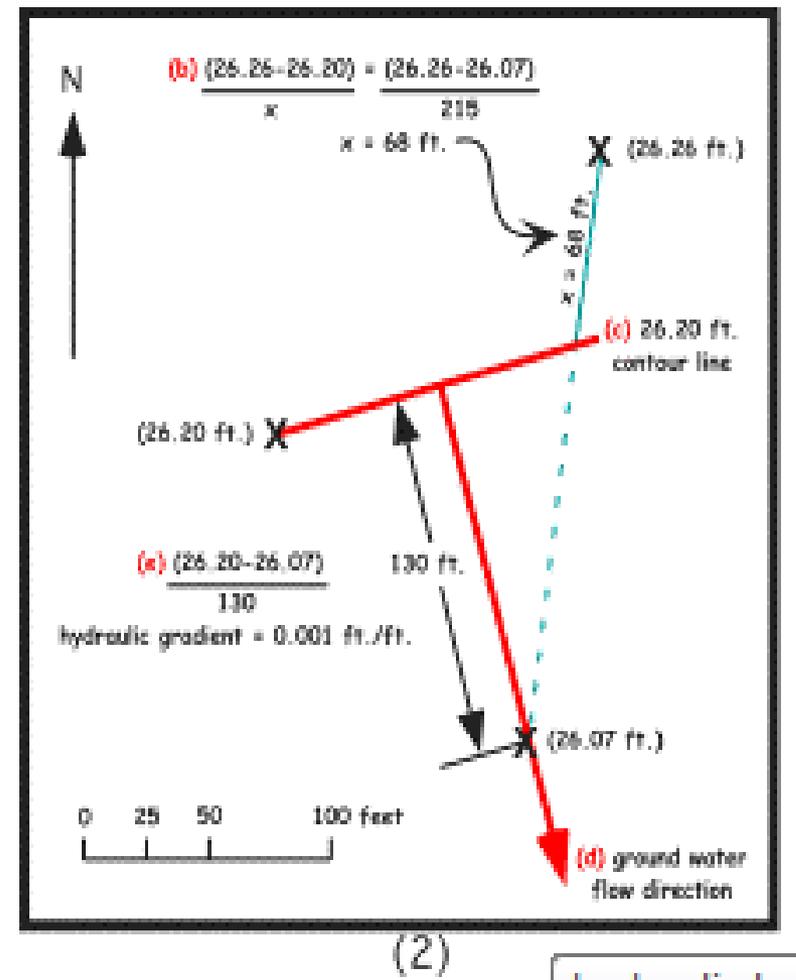
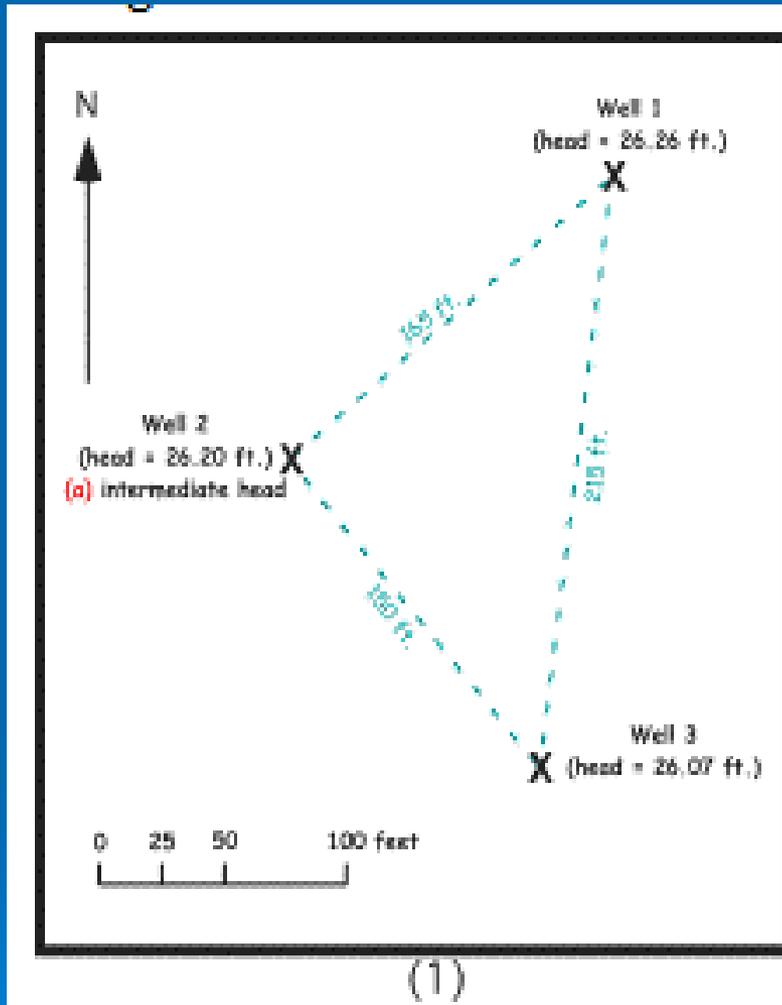
Se refieren a una fecha dada. La equidistancia depende de la precisión y la densidad de las medidas, de los valores del gradiente hidráulico, de la escala del mapa y de la precisión de la nivelación. En general, es del orden del metro (0.5, 1 ó 2 m.) para los mapas 1:10.000 y 1:25.000; y de 5 ó 10 metros para los 1:50.000 y 1:100.000.

Trazado de las curvas isopiezas

- Interpolación interpretativa
- Interpolación triangular
- Software especializado



Líneas isopiezas = líneas equipotenciales



Líneas isopiezas = líneas equipotenciales

MAPAS PIEZOMETRICOS

PERMITEN:

Análisis morfológico de la superficie piezométrica

- Tipos de superficie
- Ejes principales del flujo
- Perfiles piezométricos
- Conocer el sentido del flujo
- Régimen de flujo uniforme o no uniforme

Estudio de la estructura del acuífero

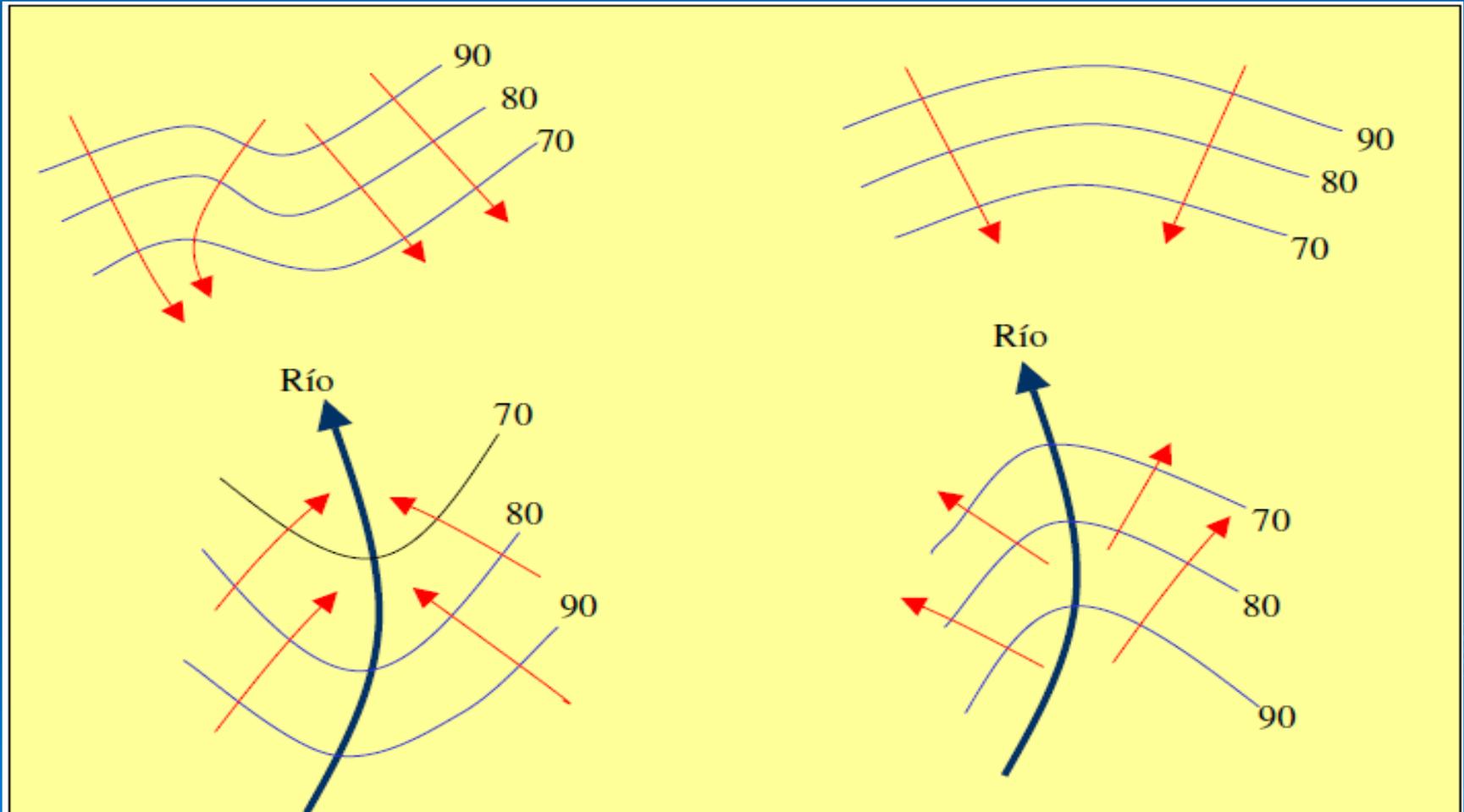
- Diferenciar áreas de recarga y descarga
- Identificar divisorias hidrogeológicas
- Manifiestar relaciones río – acuífero
- Mostrar diferencias de parámetros hidrodinámicos

Estudio del comportamiento hidrodinámico

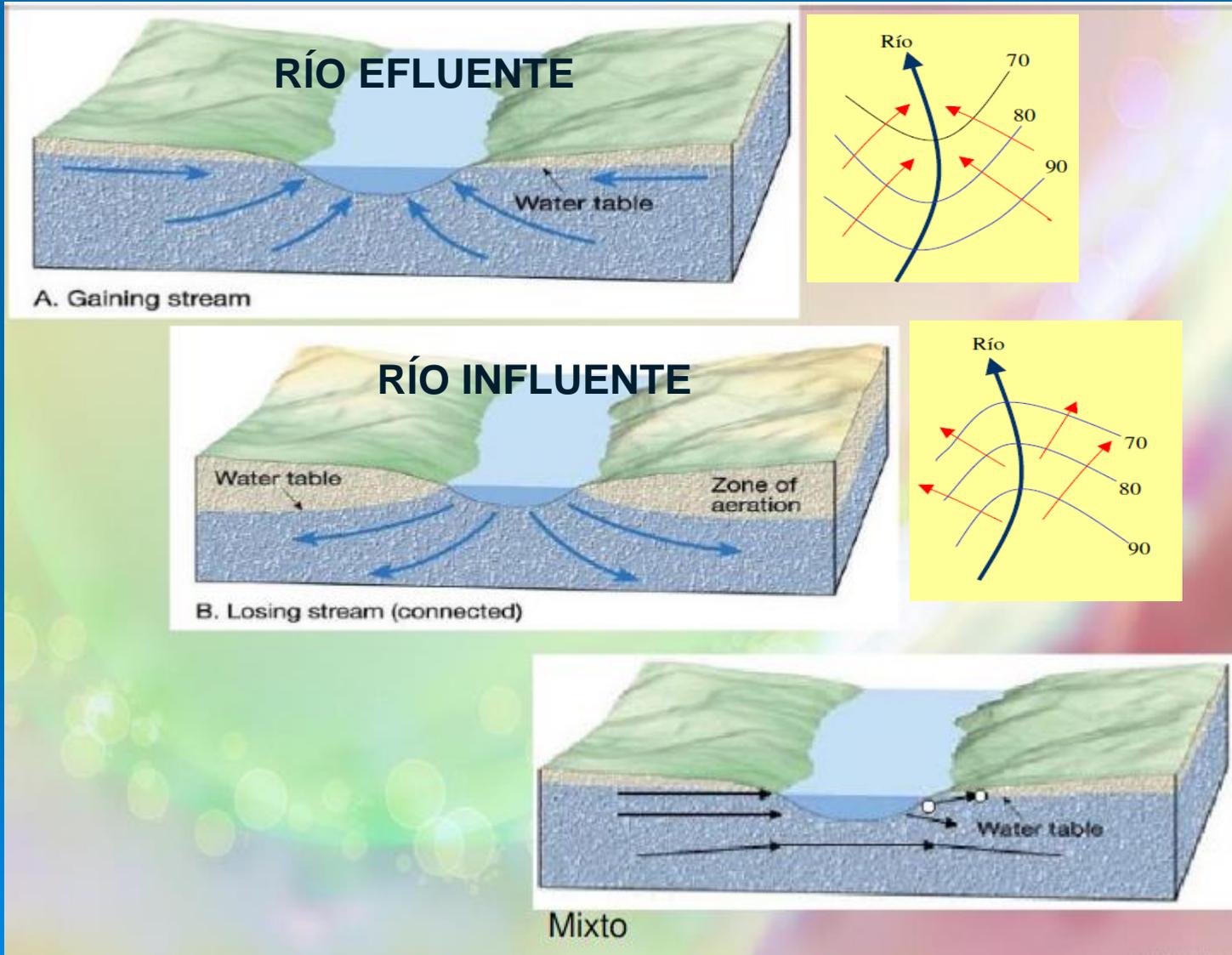
- Aplicación de la Ley de Darcy

Análisis de fluctuaciones piezométricas

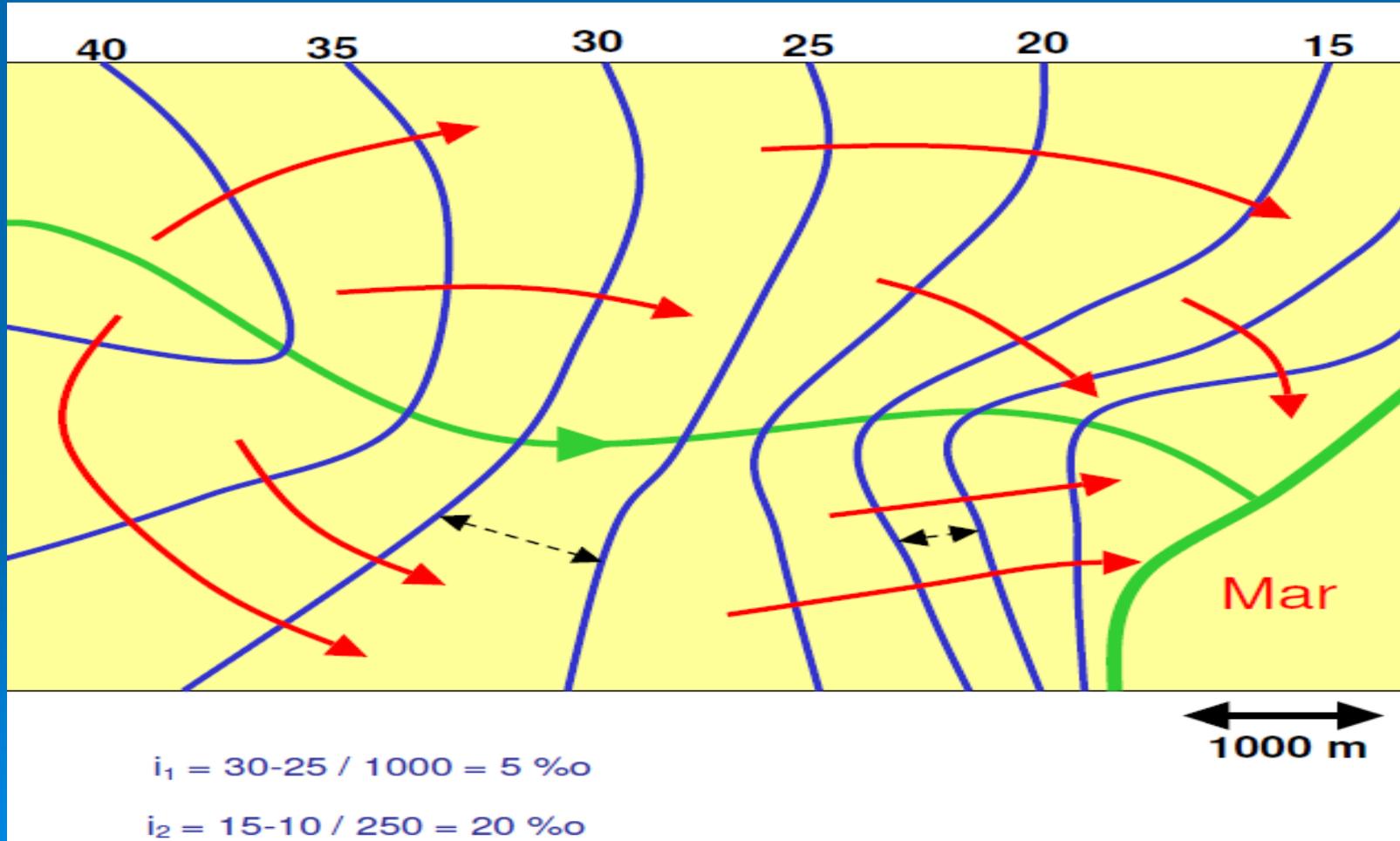
Ejemplos



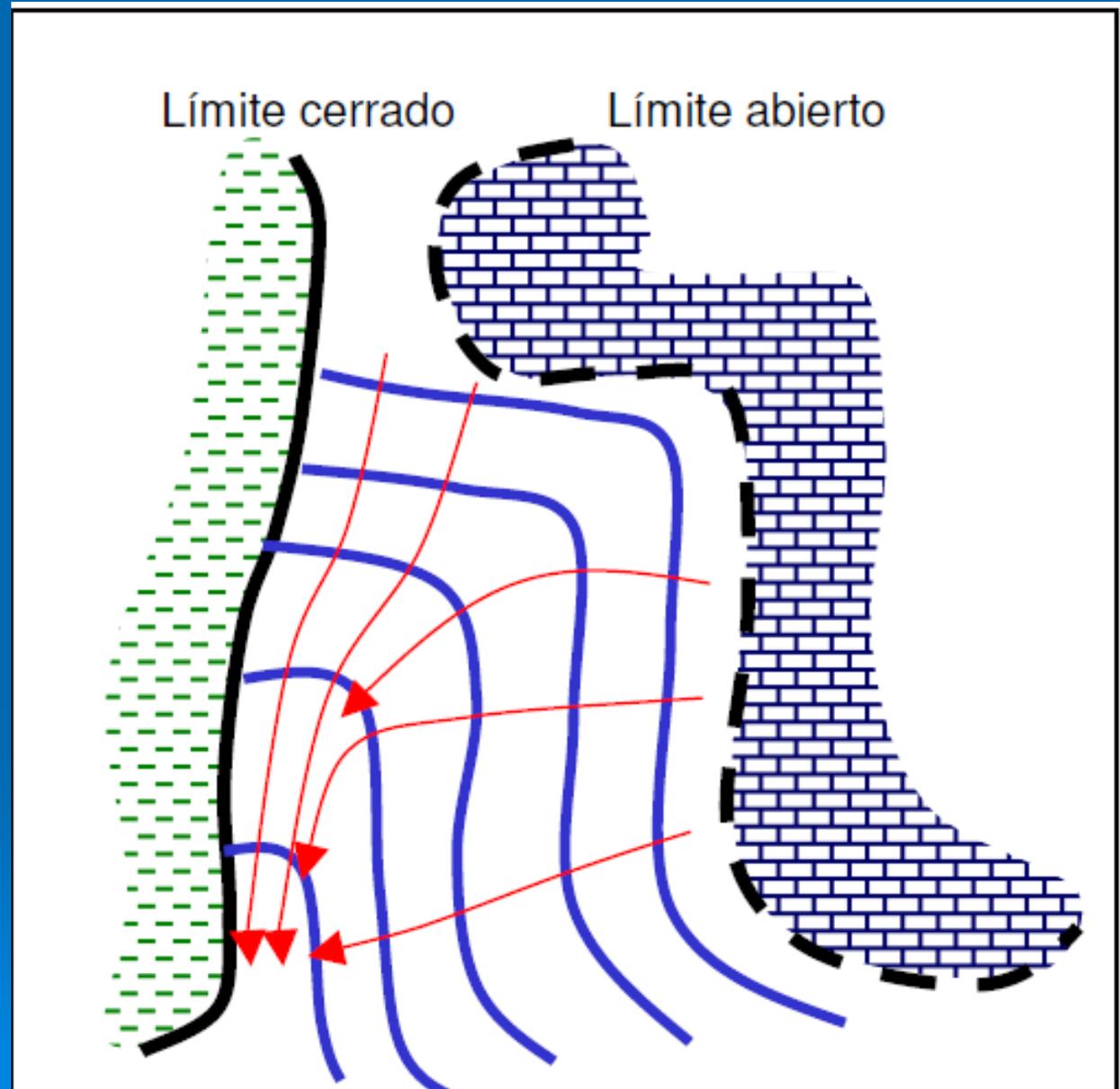
RELACIÓN RÍO ACUÍFERO



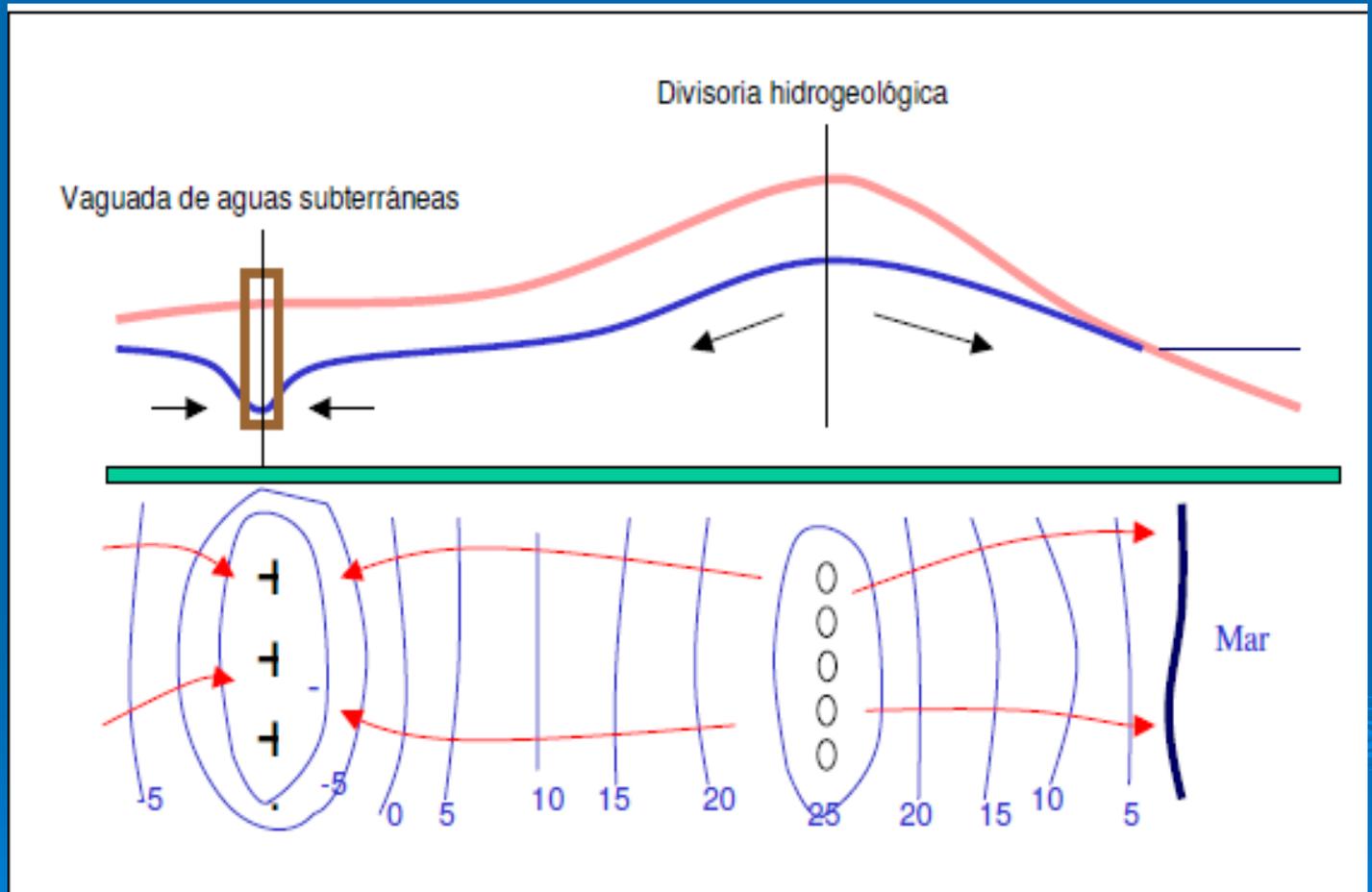
Ejemplos



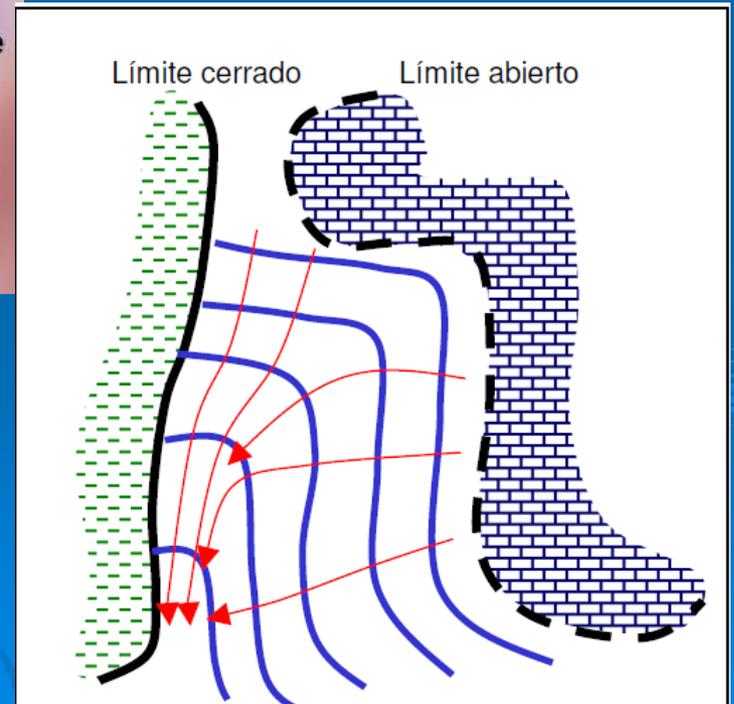
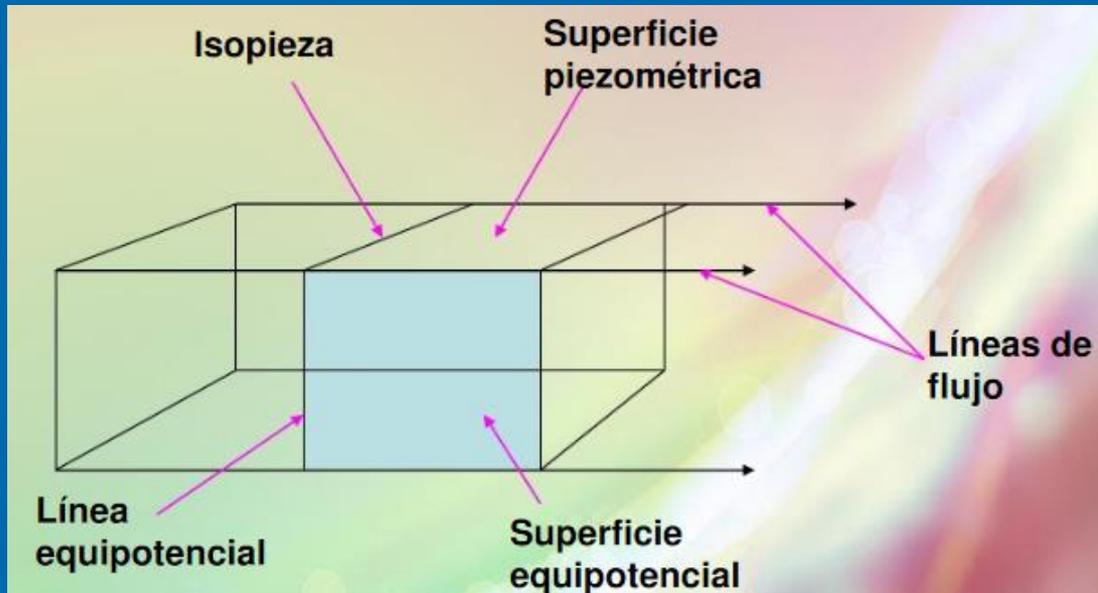
Ejemplos



Ejemplos

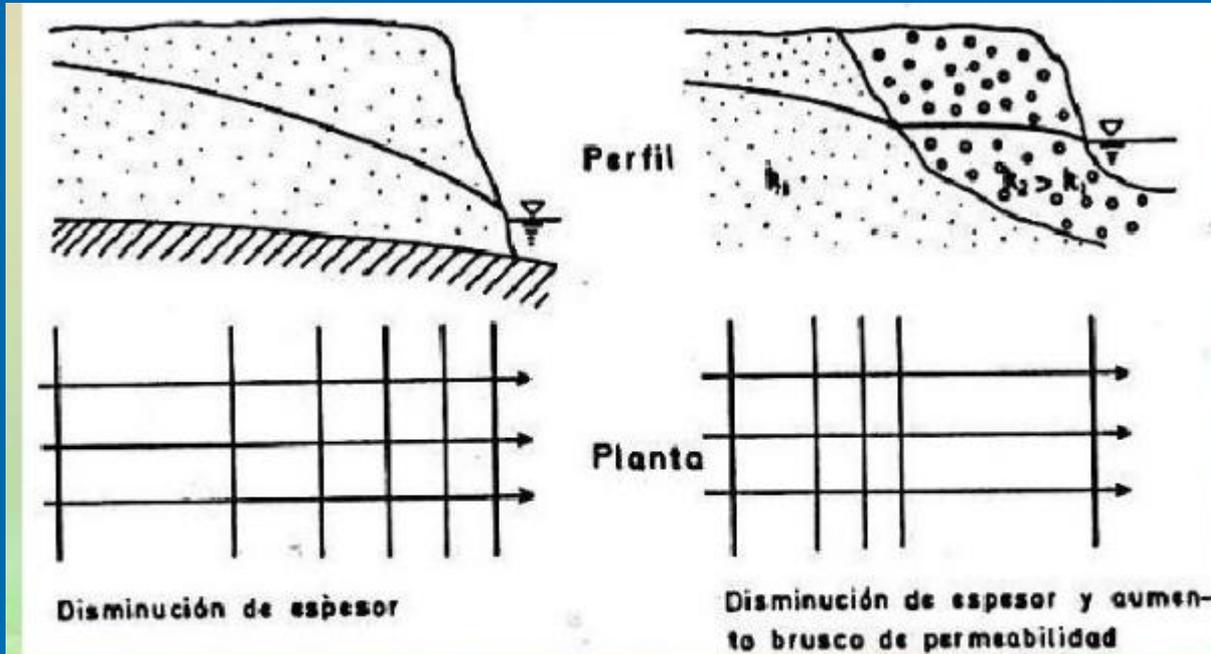


CALCULO DE CAUDALES



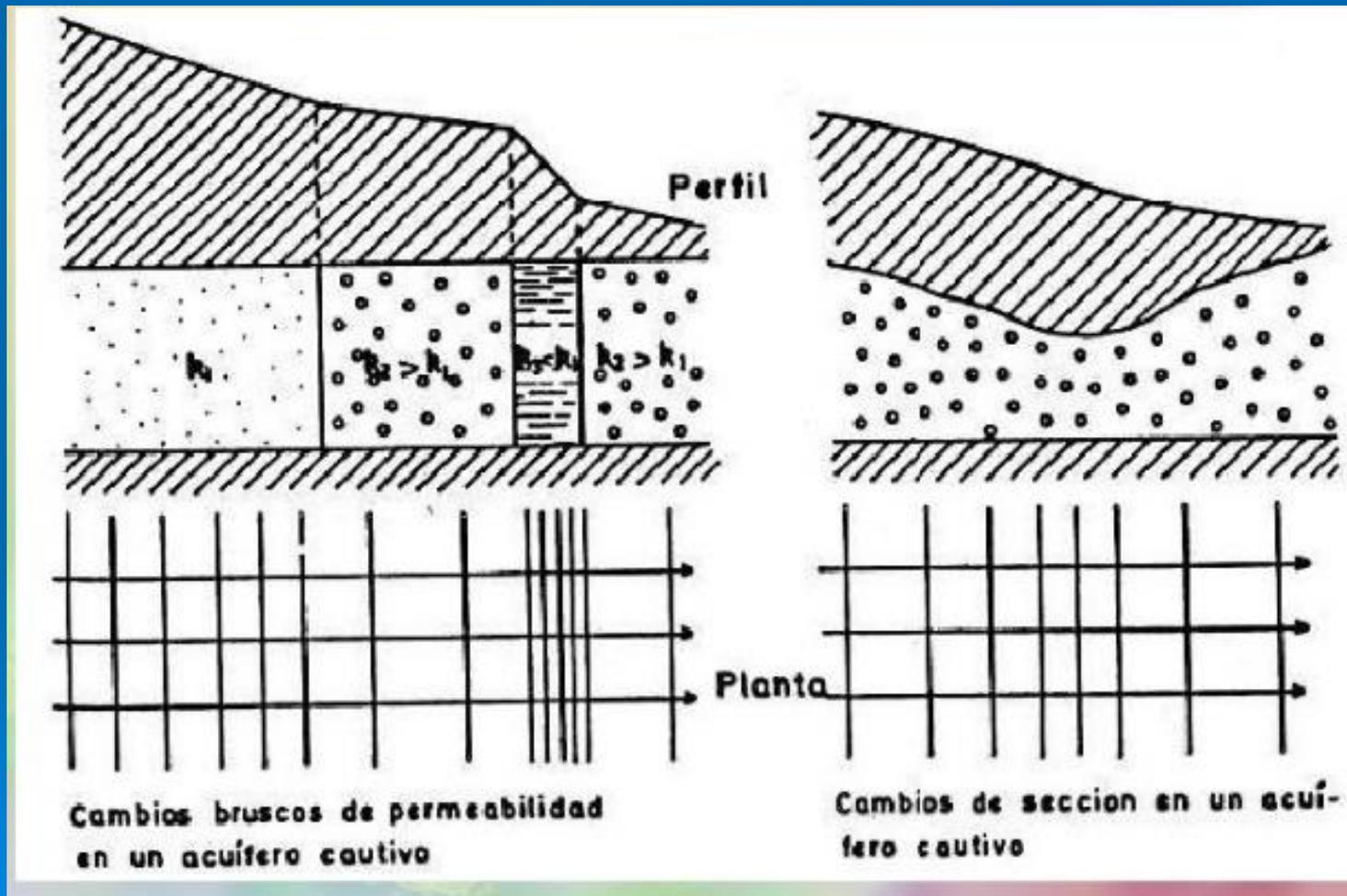
$$Q = k.A.i ; \quad q = \frac{Q}{A} = v_D = k.i$$

CAMBIOS EN UN ACUÍFERO LIBRE

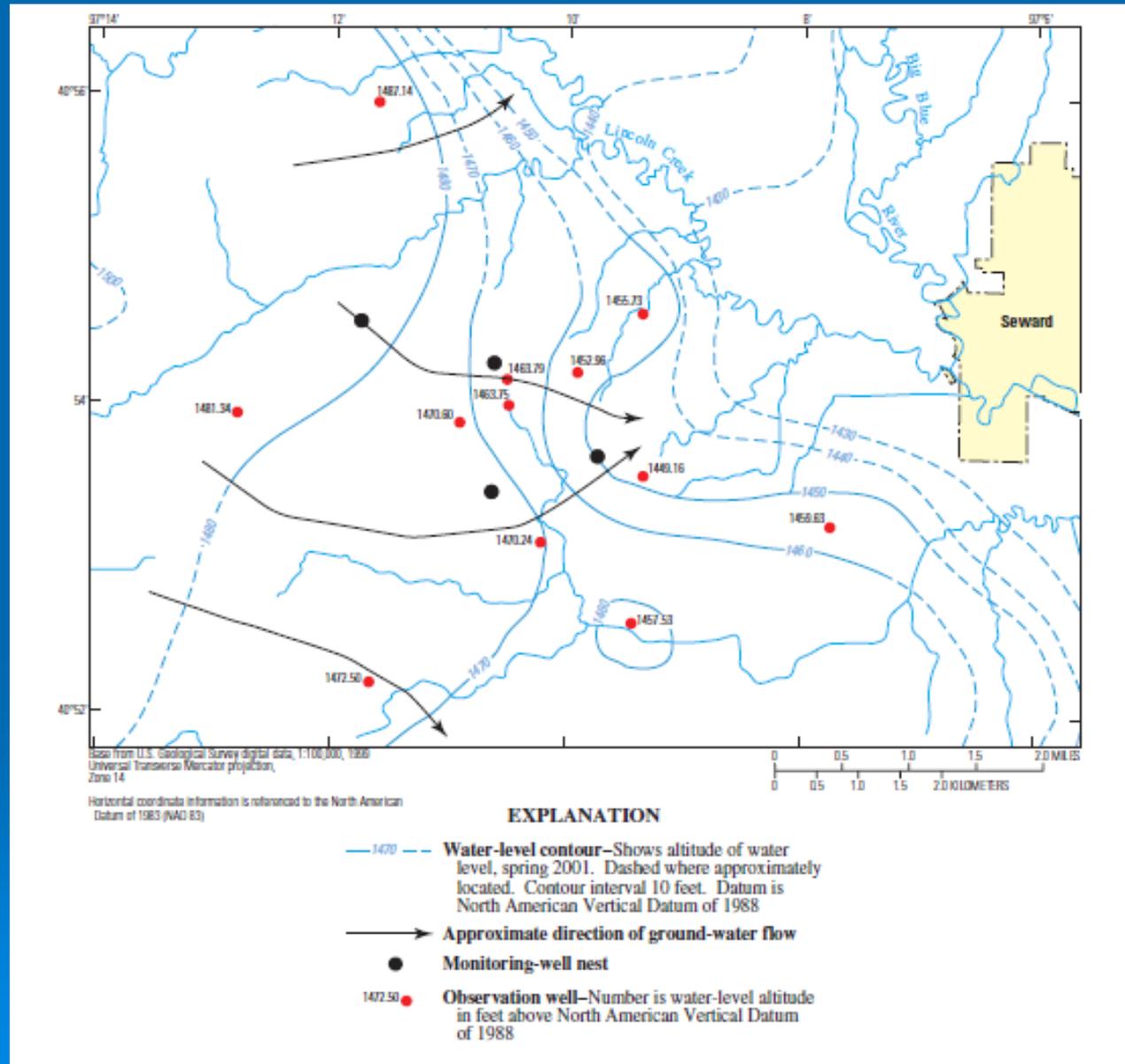


La separación entre las líneas isopiezas indican cambios de espesor y también de permeabilidad

CAMBIOS EN UN ACUÍFERO CONFINADO



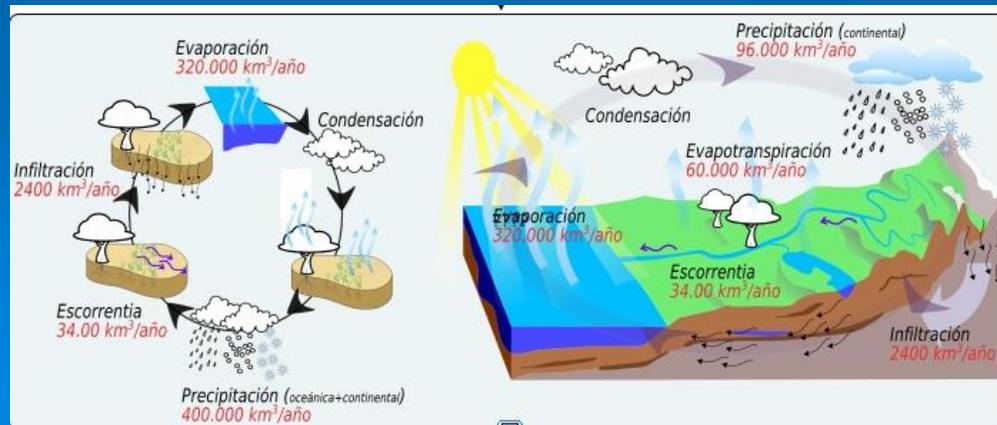
EJEMPLO



HIDROGEOLOGÍA 2. BALANCE HÍDRICO DE UN ACUÍFERO

En cualquier sistema hidrogeológico se puede estimar el volumen de agua correspondiente a su recarga, el caudal que fluye por su zona de saturación y la cantidad de agua que supone su descarga al exterior. Es **el balance hídrico de un sistema acuífero**.

En la mayoría de los casos se establece el balance hídrico para la cuenca hidrográfica a la que pertenece el acuífero, a fin de valorar las relaciones entre la escorrentía superficial y subterránea de la región. Pero no siempre coinciden las divisorias de aguas superficiales con las hidrogeológicas, lo que significa que no necesariamente toda el agua que se infiltra en la cuenca va a incrementar el flujo subterráneo de los acuíferos de la misma, o a reintegrarse más tarde o más temprano en los cursos superficiales que la drenan.



Se aplica a una región, una cuenca, un acuífero, o porciones de estos sistemas

- Los balances generales incluyen aguas superficiales y subterráneas
- Los balances parciales se refieren a un acuífero, al agua en el suelo, a aguas superficiales..

Intervalos de tiempo

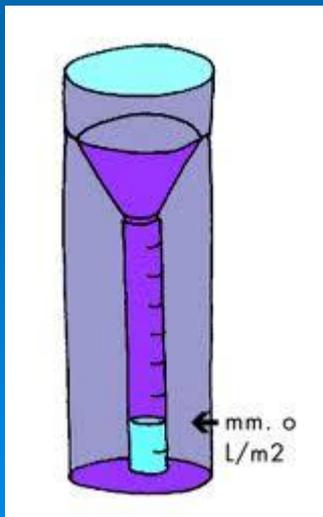
- A mayor periodo, menor variación del almacenamiento
- En regiones con fuertes contrastes estacionales es conveniente considerar periodos más cortos, incluso diarios
- Periodos secos, periodos húmedos, año medio

Límites del sistema

- Variables
- Divisorias de aguas superficiales o subterráneas
- Límites impermeables

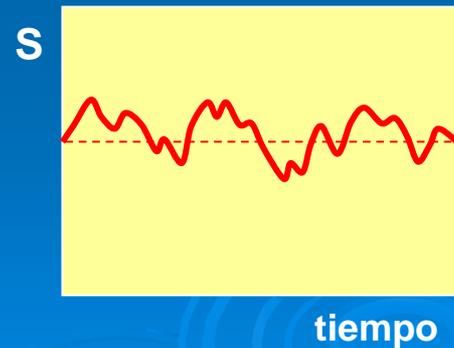
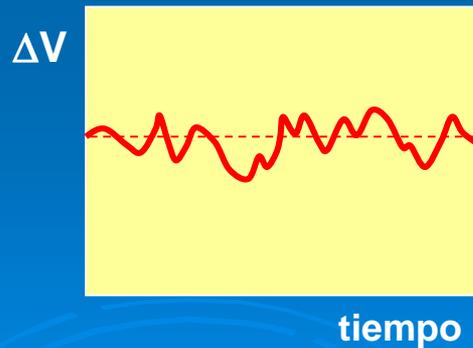
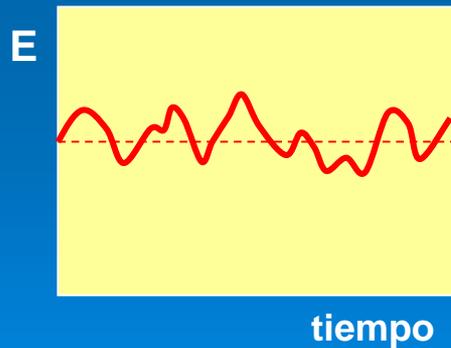
UNIDADES

- Volumen $\text{hm}^3 = 10^6 \text{ m}^3$
- Volumen / superficie mm altura de agua equivalente
- Volumen / tiempo = caudal $\text{hm}^3 / \text{año}$
- Volumen / superficie / tiempo mm / año
- Volumen / tiempo / superficie $\text{l} / \text{s} / \text{km}^2$ caudal específico



Aplicación del principio de conservación de masas

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} = \pm \Delta V$$



Entradas – Salidas = $\pm \Delta V \pm \varepsilon$

$$IP + IR + Q_{Te} + Q_e + RA - DR + ET + Q_{Ts} + Q_s + Q_m + B = \pm \Delta V \pm \varepsilon$$

IP	Infiltración procedente de la precipitación
IR	Infiltración a partir de aguas superficiales (incluidos retornos)
Q_{Te}	Entradas subterráneas por los límites
Q_e	Entradas subterráneas desde otros acuíferos
RA	Recarga artificial

DR	Descargas directas del acuífero a los ríos
ET	Evapotranspiración
Q_{Ts}	Salidas subterráneas por los límites
Q_s	Salidas subterráneas a otros acuíferos
Q_m	Salidas por manantiales
B	Bombeos (extracciones de aguas subterráneas)

ΔV	Variación del volumen de agua almacenada
ε	Error de cierre del balance

Entradas – Salidas = $\pm \Delta V \pm \varepsilon$

$$(Q_{Te} + Q_e - Q_{Ts} - Q_s) + (IR - DR - Q_m) + (IP - ET) + (RA - B) = \Delta V \pm \varepsilon$$

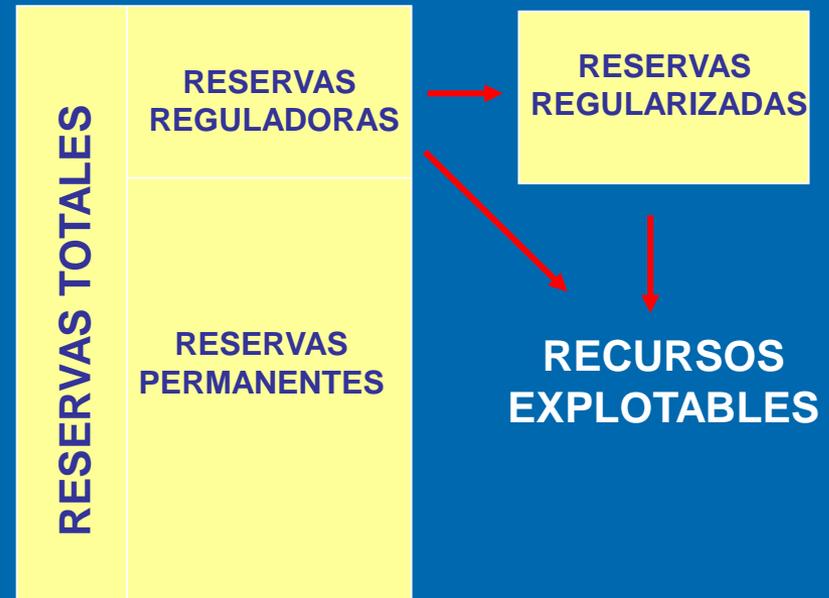
Ley de Darcy (T, i, l)

Aforos en ríos y manantiales

Tratamiento de datos

Inventario

Geometría del acuífero, piezometría, S



RESERVAS

Volumen total de agua movilizable existente en un acuífero

RECURSOS

Caudal que puede obtenerse permanentemente de un acuífero, manteniendo un estado estacionario

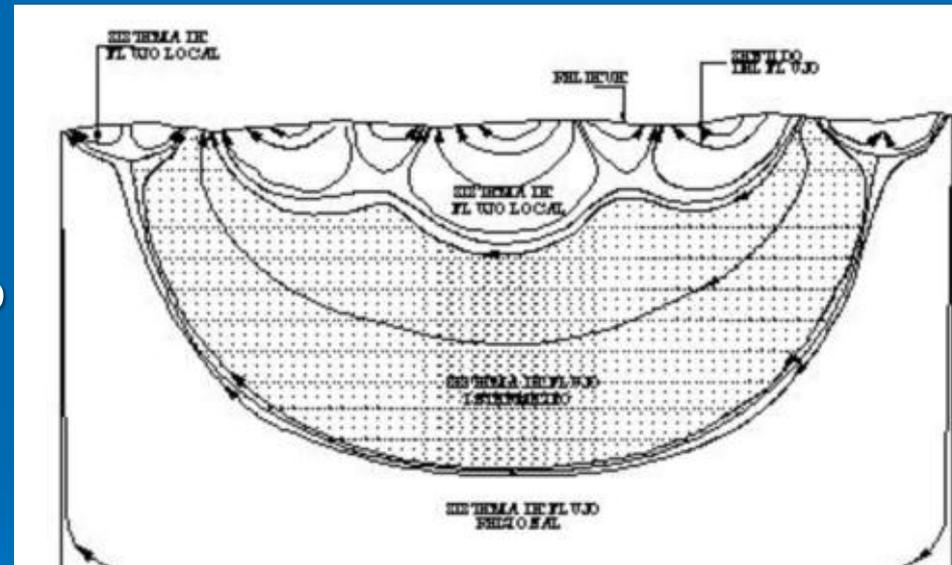
TIEMPO DE RESIDENCIA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

$$T = V / Q$$

V = volumen almacenado, reservas

Q = caudal medio de entrada, recursos

Atmósfera	Una semana
Cauces ríos	Dos semanas
Suelo	Dos – cuatro semanas
ZNS	Dos semanas – un año
Océanos	4000 años
Acuíferos	Días – decenas de miles de años



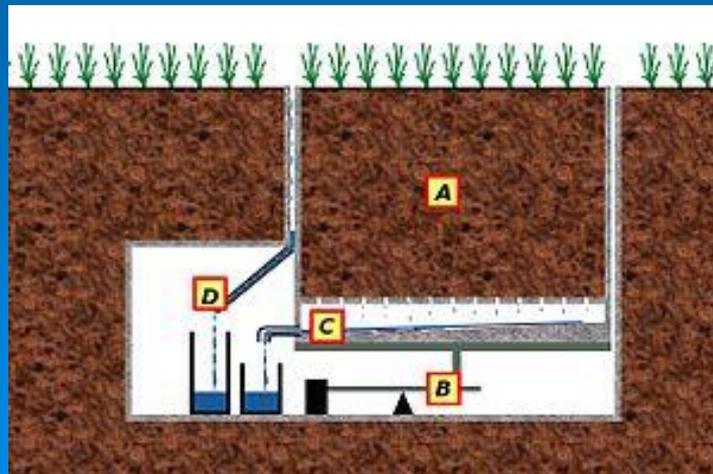
MÉTODOS PARA ESTIMAR LA RECARGA

Definición de recarga

La recarga se puede definir como la entrada de agua dentro de la zona saturada donde comienza a hacer parte de las reservas subterráneas,

La recarga puede determinarse por varios métodos, y se clasifican en 5 grupos:

1. Medidas directas. La recarga se mide directamente mediante la construcción de lisímetros. Un lisímetro es un bloque de suelo dotado de dispositivos que permiten medir el flujo que drena hasta el acuífero.



METODOS PARA ESTIMAR LA RECARGA

2. Balance hídrico. Se determinan los flujos de entrada y de salida de un sistema, y la recarga al acuífero constituye el residuo de la ecuación de balance; hacen parte de este grupo los balances de humedad del suelo, de agua en canales, el método de fluctuaciones del nivel freático, y el que iguala la descarga a la recarga.

3. Trazadores. Su principal uso es determinar fuentes de recarga y zonas de descarga aunque se utilizan para cuantificar la recarga a través de un balance de masa del trazador.



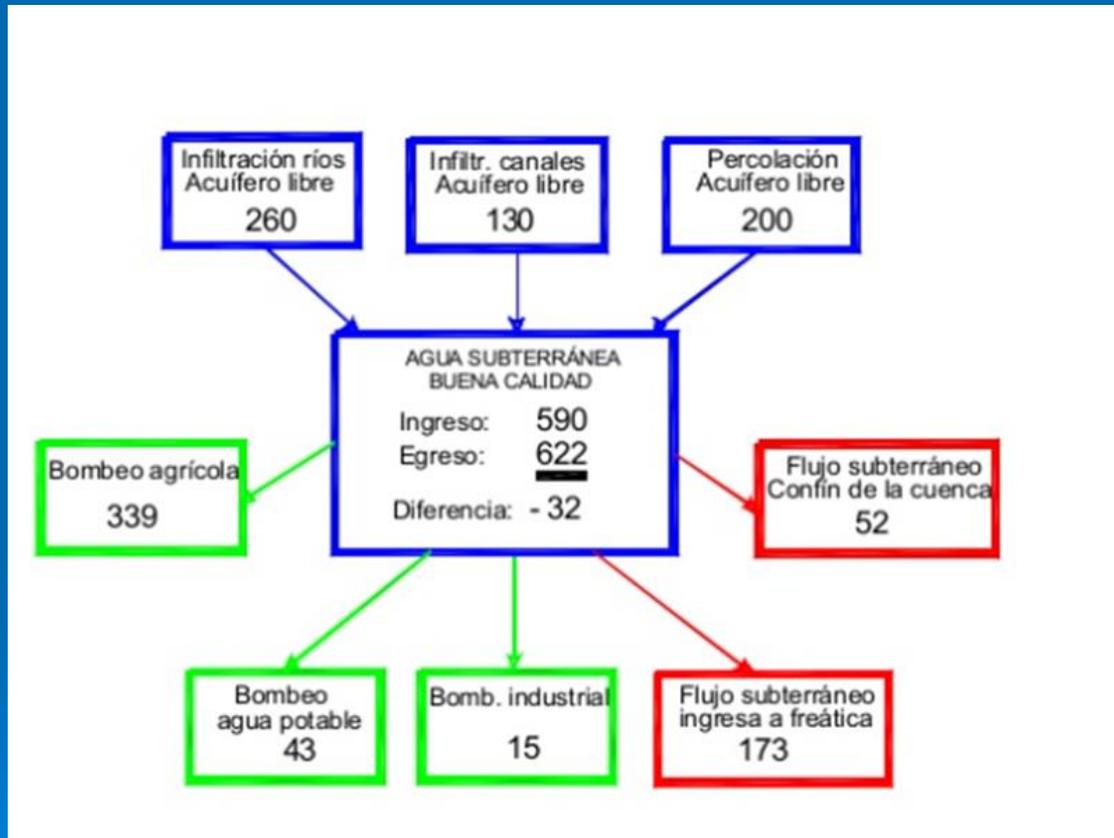
MÉTODOS PARA ESTIMAR LA RECARGA

4. Aproximaciones de Darcy. A partir de valores de niveles piezómetros y utilizando las ecuaciones de flujo de Richards y Boussinesq y luego se determina la velocidad de filtración. Si se asumen condiciones estables la recarga se determina directamente de la ecuación de Darcy.

5. Empíricos. Consiste en el desarrollo de ecuaciones empíricas que relacionan la recarga con alguna variable como la precipitación.



Ejemplo de variables en un balance hídrico de un acuífero



REFERENCIAS BÁSICAS

- Custodio, E. y M. R. Llamas (Eds.) (1983).- Hidrología Subterránea. (2 tomos). Omega, 2350 pp.
- Fetter, C. W. (2001). - Applied Hydrogeology. Prentice-Hall, 4ª ed., 598 pp.
- Schwartz, F. W. & H. Zhang (2003).- Fundamentals of Groundwater. Wiley, 592 pp.
- Watson, I. & Burnett (1995).- Hydrology. An environmental approach. CRC Lewis, 702 pp.
- Younger, P. L. - (2006).- Groundwater in the Environment: An Introduction. Blackwell Publishing, 318 pp.

