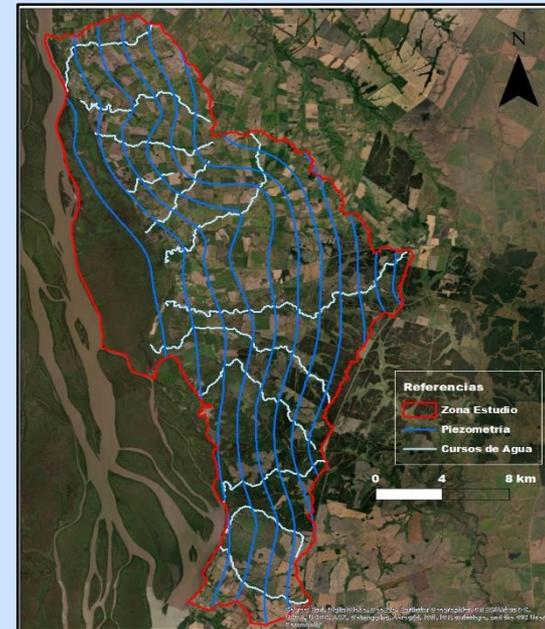


CLASE 3-MOVIMIENTO DEL AGUA EN MEDIOS POROSOS



Edición 2025
Agustín Menta

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA)
Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay

amenta@fing.edu.uy

MOVIMIENTO DEL AGUA EN MEDIOS POROSOS

Objetivos

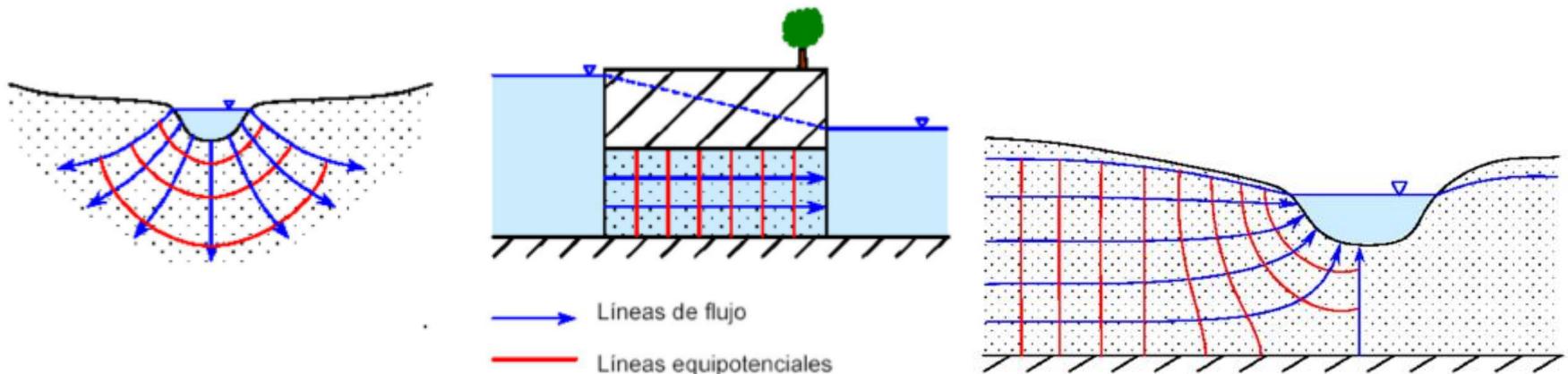
- ❖ Superficies piezométricas
- ❖ Construcción de superficies piezométricas
- ❖ Interpretación de mapas piezométricos
- ❖ Balance de masa a partir de piezometría

SUPERFICIES PIEZOMÉTRICAS

- ❖ Es una superficie de los puntos que indican la altura piezométrica de cada una de las porciones de un acuífero, referidas a una determinada profundidad.

$$h = \frac{p}{\rho g} + z$$

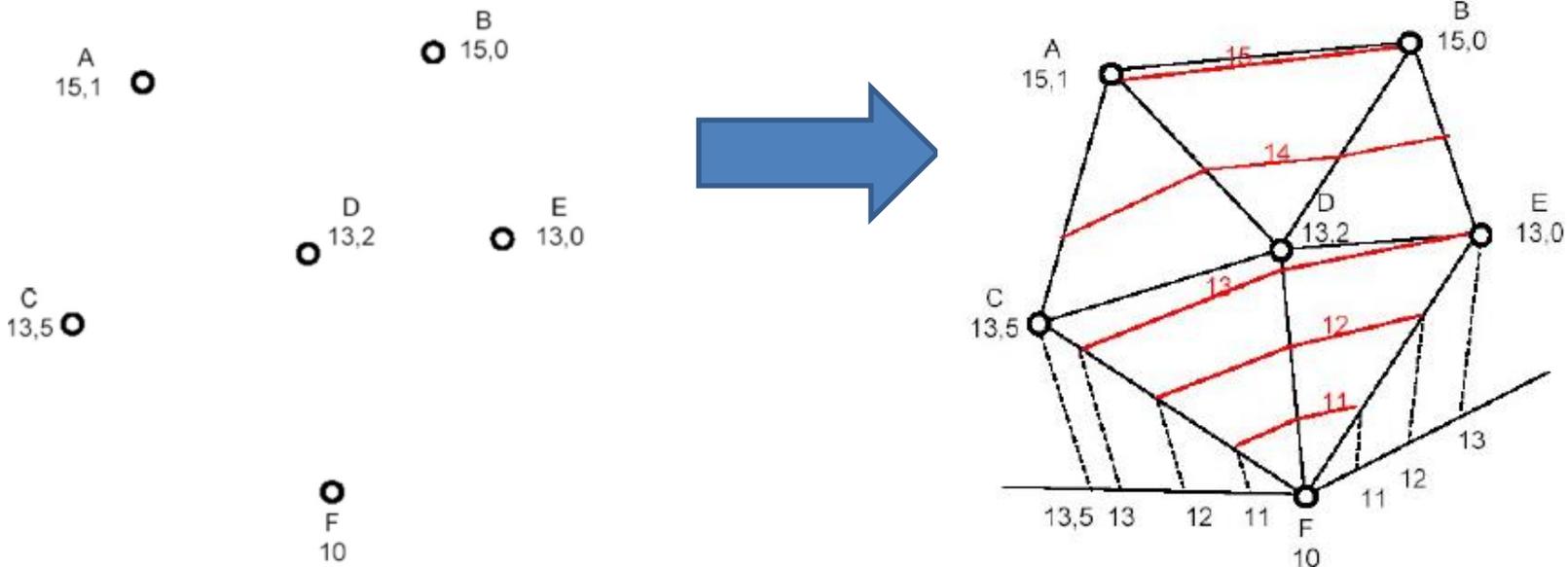
- ❖ Las **superficies piezométricas** se representan mediante curvas llamadas **isopiezas**, que son líneas de igual altura piezométrica y que se asocian también a líneas equipotenciales.
- ❖ A partir de las líneas equipotenciales, se trazan las **líneas de flujo** o líneas de corriente que son **normal** a las **isopiezas**



SUPERFICIES PIEZOMÉTRICAS

Trazado y Construcción de las Isopiezas

Se tienen los siguientes puntos con el nivel piezométrico medido.



Se aproximan las isopiezas por el método de triangulación. Las líneas auxiliares permiten dividir, mediante proyección, los segmentos entre puntos de acuerdo con sus valores de nivel piezométrico

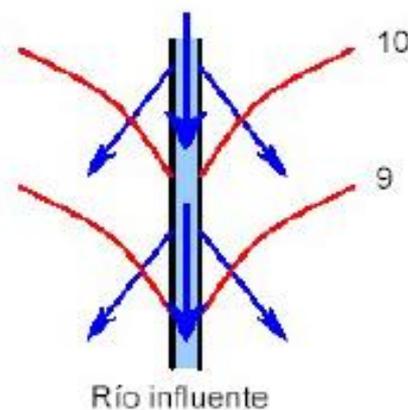
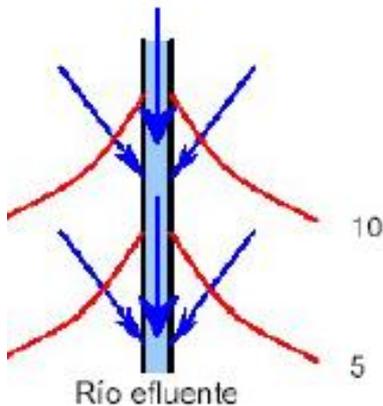
SUPERFICIES PIEZOMÉTRICAS

Análisis de la piezometría

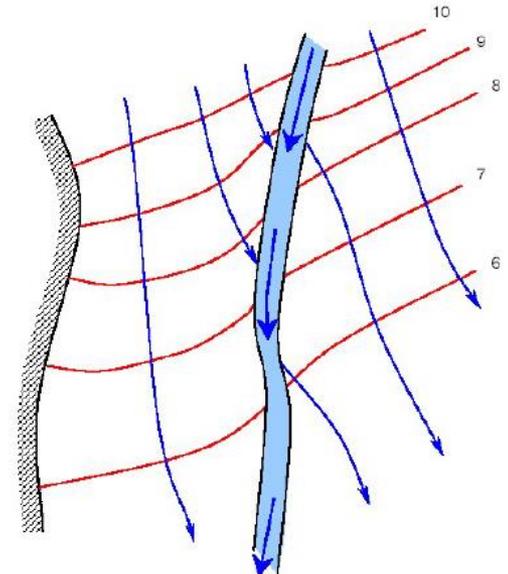
Condiciones de borde:

Borde Permeable

Diferentes geometrías que adoptan las equipotenciales según el río es efluente (drena el acuífero) o influente (recarga el acuífero).



Combinación de borde impermeable cerca de un río que es efluente e influente a cada lado



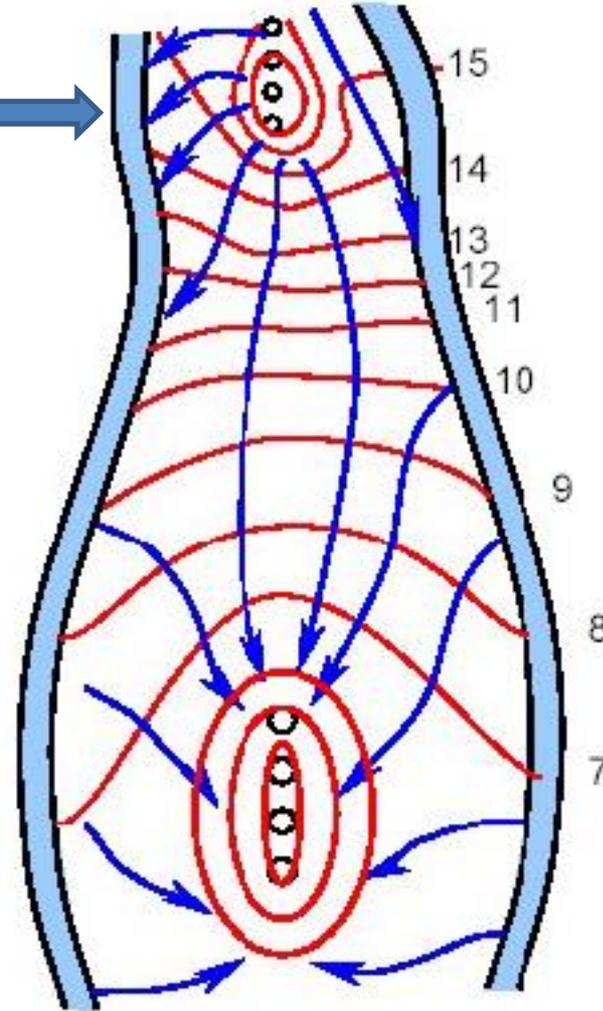
SUPERFICIES PIEZOMÉTRICAS

Análisis de la piezometría

Zona de recarga y descarga

- Zona de recarga (por ejemplo una zona de riego intensivo)

- Zona de descarga (por ejemplo zona de bombeo)



SUPERFICIES PIEZOMÉTRICAS

Análisis de la piezometría

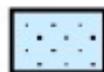
Influencia de las variaciones del espesor o permeabilidad del acuífero sobre la superficie piezométrica

- Las líneas equipotenciales sugieren el aumento del gradiente hidráulico cerca del contacto con el límite permeable
- El cambio de litología de un material poco permeable a un material muy permeable en un acuífero cautivo genera un cambio en el espaciamiento de las líneas equipotenciales

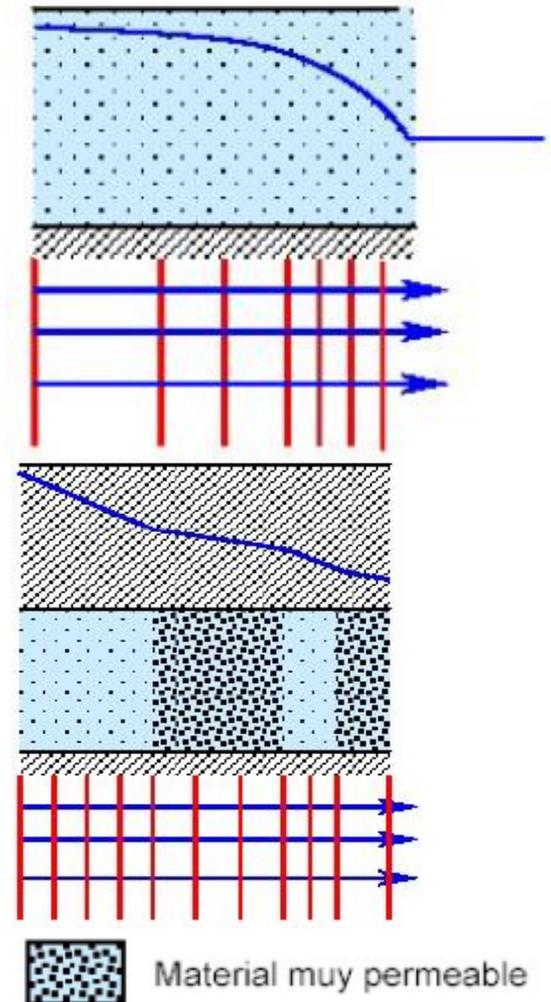
$$Q_1 = Q_2$$

$$K_1 i_1 A_1 = K_2 i_2 A_2$$

➔ Si $K_1 < K_2$, $i_1 > i_2$



Material poco permeable



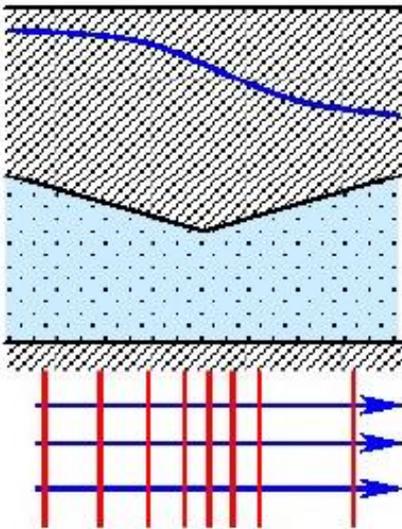
Material muy permeable

SUPERFICIES PIEZOMÉTRICAS

Análisis de la piezometría

Influencia de las variaciones del espesor o permeabilidad del acuífero sobre la superficie piezométrica

- ❖ El cambio de espesor en un acuífero cautivo

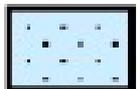


$$Q_1 = Q_2$$

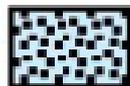
$$\cancel{K}_1 i_1 A_1 = \cancel{K}_2 i_2 A_2$$



$$\text{Si } A_2 < A_1, i_2 > i_1$$



Material poco permeable



Material muy permeable

MOVIMIENTO DEL AGUA EN MEDIOS POROSOS

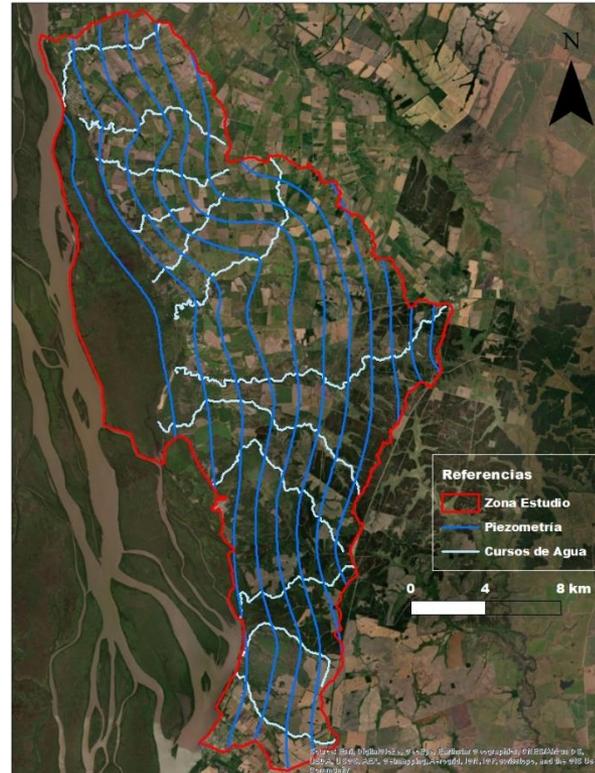
MAPAS PIEZOMÉTRICOS

Utilidad Mapas Piezométricos



Importante!!

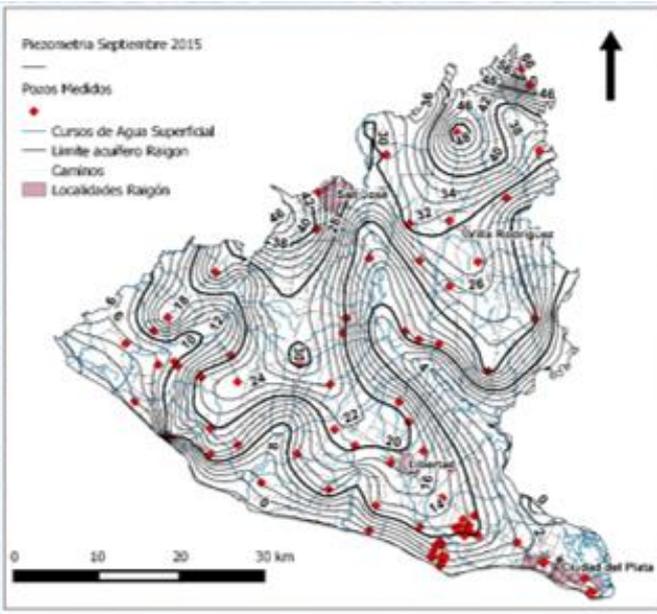
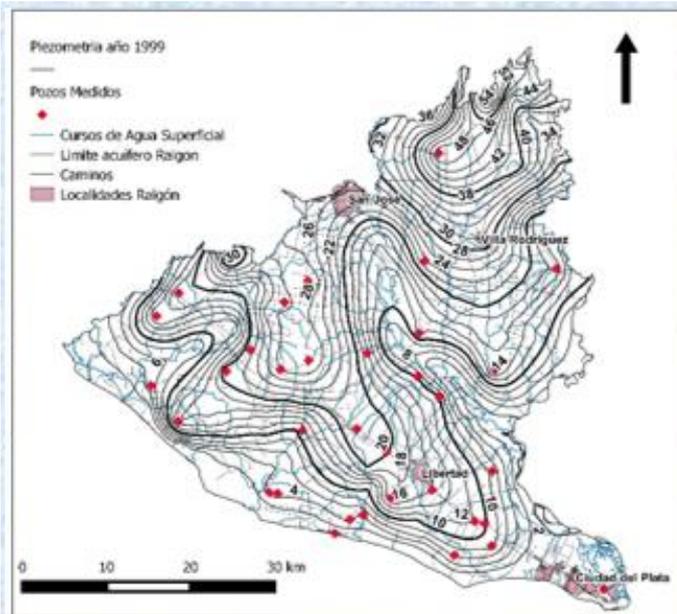
Para obtener un mapa piezométrico representativo de un acuífero, los piezómetros deben estar abiertos sólo en el acuífero de interés



MOVIMIENTO DEL AGUA EN MEDIOS POROSOS

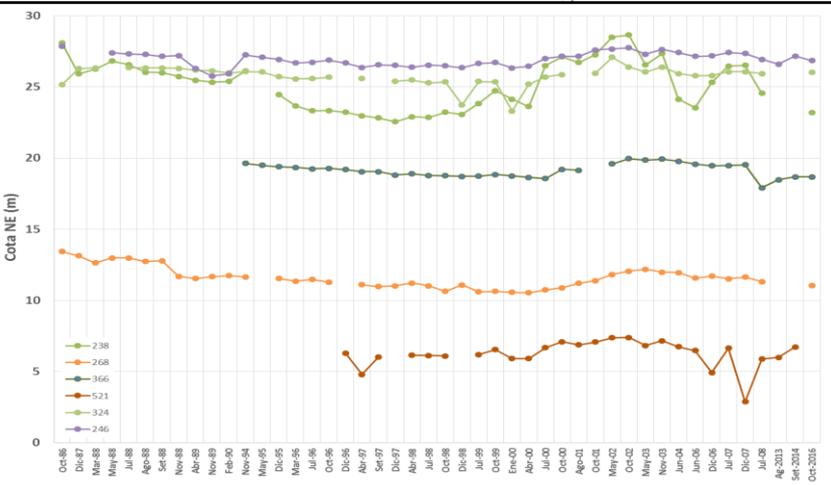
MAPAS PIEZOMÉTRICOS

Utilidad Mapas Piezométricos



1999

2015



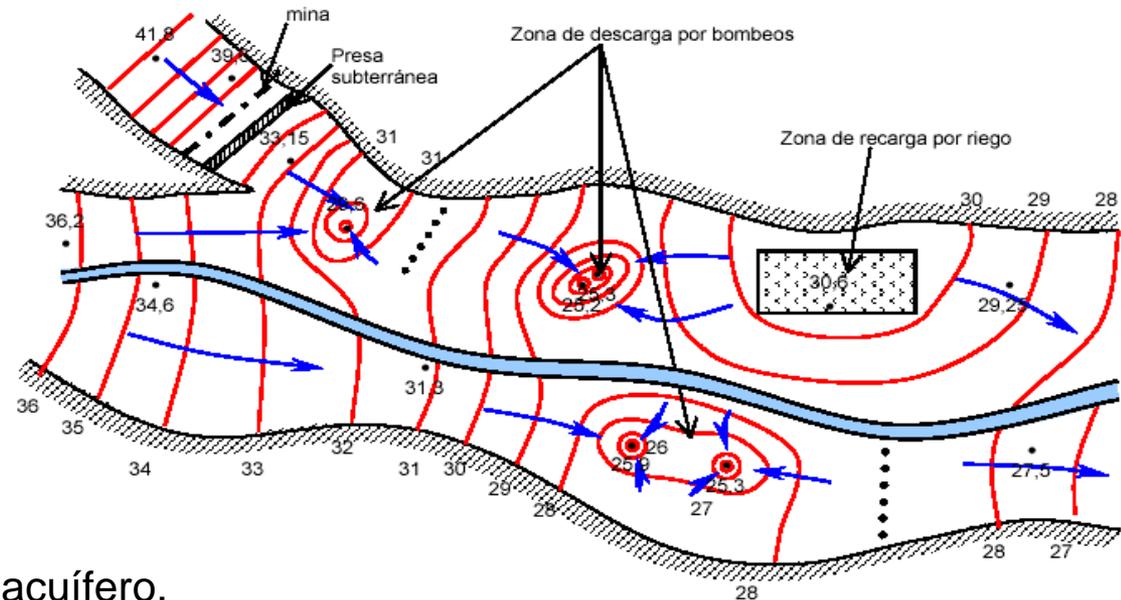
SUPERFICIES PIEZOMÉTRICAS-APLICACIÓN

Ejemplo de la piezometría de un acuífero aluvial imaginario con zonas de recarga, zonas de descarga, dren, presa subterránea...

Se observa como en las zonas de riego, las líneas piezométricas forman un domo de recarga, que significa una entrada de agua en el acuífero.

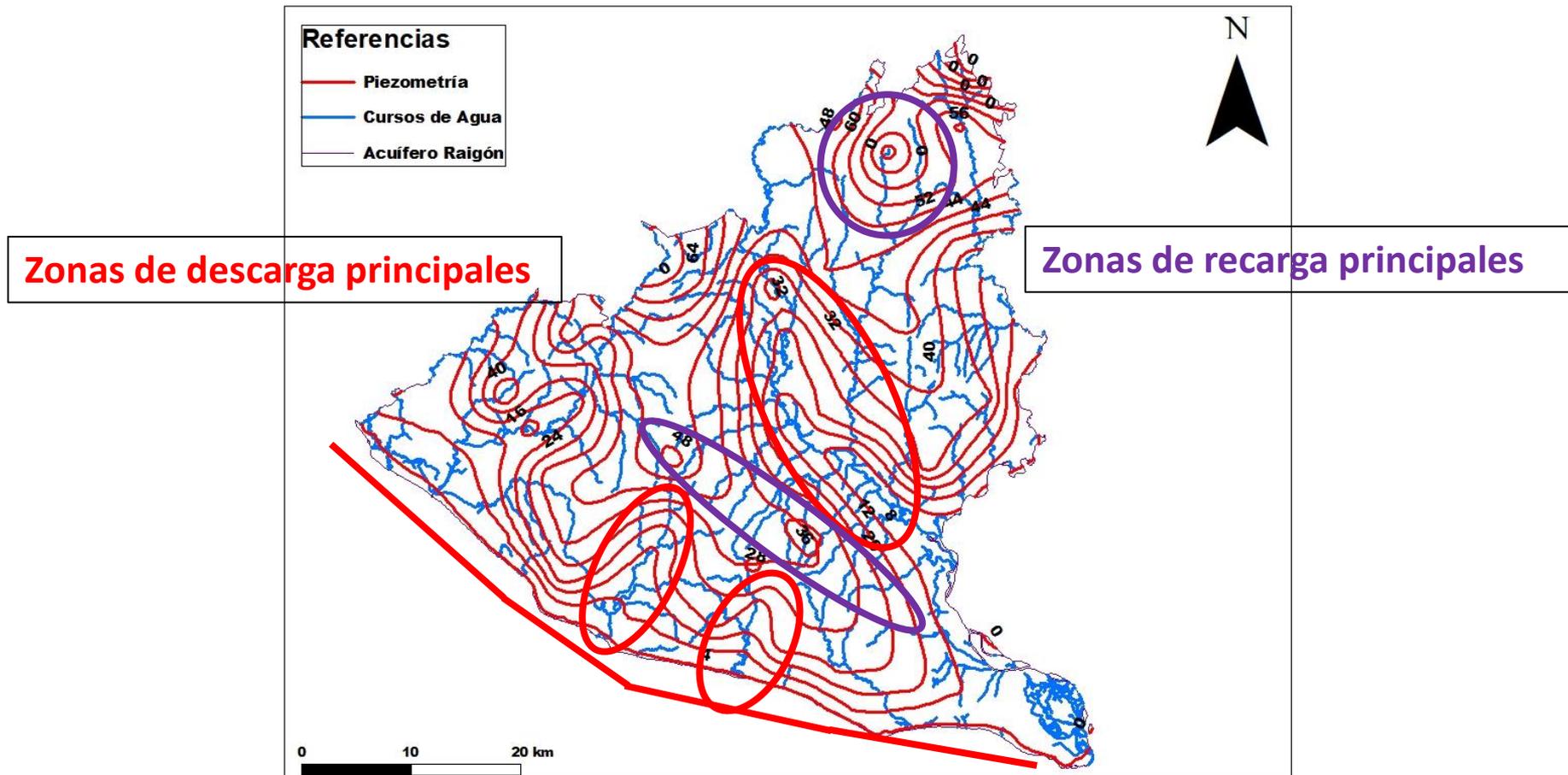
Por el contrario, en las zonas de bombeo, en las que se extrae agua del acuífero, las líneas piezométricas dibujan unos conos de descenso del nivel.

En el dibujo se observa unas líneas punteadas que pueden llamarse divisoria de aguas, son zonas en que las líneas piezométricas divergen. El caso contrario se denomina vaguada y determina zonas en que las líneas piezométricas convergen.



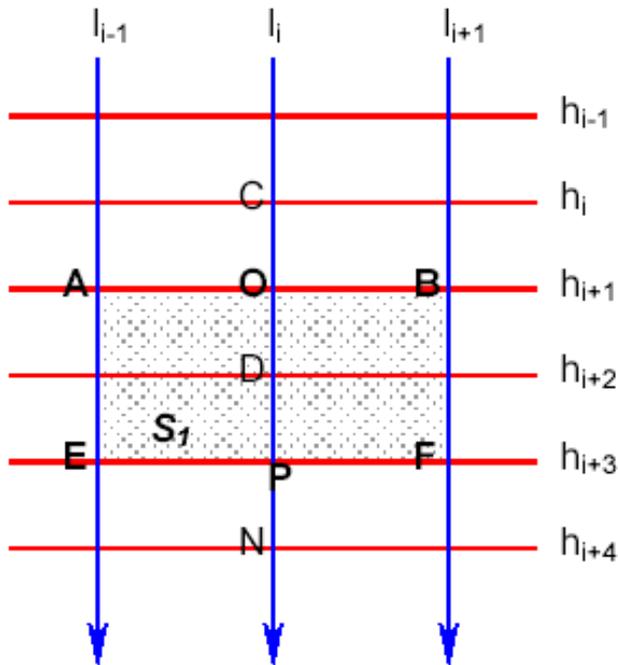
SUPERFICIES PIEZOMÉTRICAS-APLICACIÓN

- Acuífero Raigón



SUPERFICIES PIEZOMÉTRICAS

Utilidad de las superficies piezométricas para establecer el balance



Se puede realizar el balance en la zona \$S_1\$ (ABEF) cuando hay recarga (R). o descarga (B)

Aplicando la ley de Darcy:

$$Q_{AB} = T_{AB} \cdot AB \cdot \frac{h_i - h_{i+2}}{CD}$$

$$Q_{EF} = T_{EF} \cdot EF \cdot \frac{h_{i+2} - h_{i+4}}{DN}$$

Realizando el balance de masa:

Si se considera que no hay variación en el almacenamiento

- **Entrada por AB-Salida por EF+ Entrada por recarga –Salida por descarga=0**

Si hubiera variación en el almacenamiento:

- **Entrada por AB-Salida por EF+ Entrada por recarga –Salida por descarga=S*A*Δh**

SUPERFICIES PIEZOMÉTRICAS-EJEMPLO

Ejemplo -Análisis Cuantitativo de Superficies Piezométricas Custodio y Llamas (1983)

La figura representa una superficie piezométrica de un acuífero recargado y drenado por un río y un borde impermeable.

Se sabe que a lo largo de la isopieza +40 el espesor saturado es de 5.5 m y que a lo largo de la isopieza +30 es de 11.5m.

Se sabe además que la $K=200\text{m/d}$ en la curva +40.

Se supone que existe una recarga por aporte de lluvia y exceso de riego de 100 mm/año.

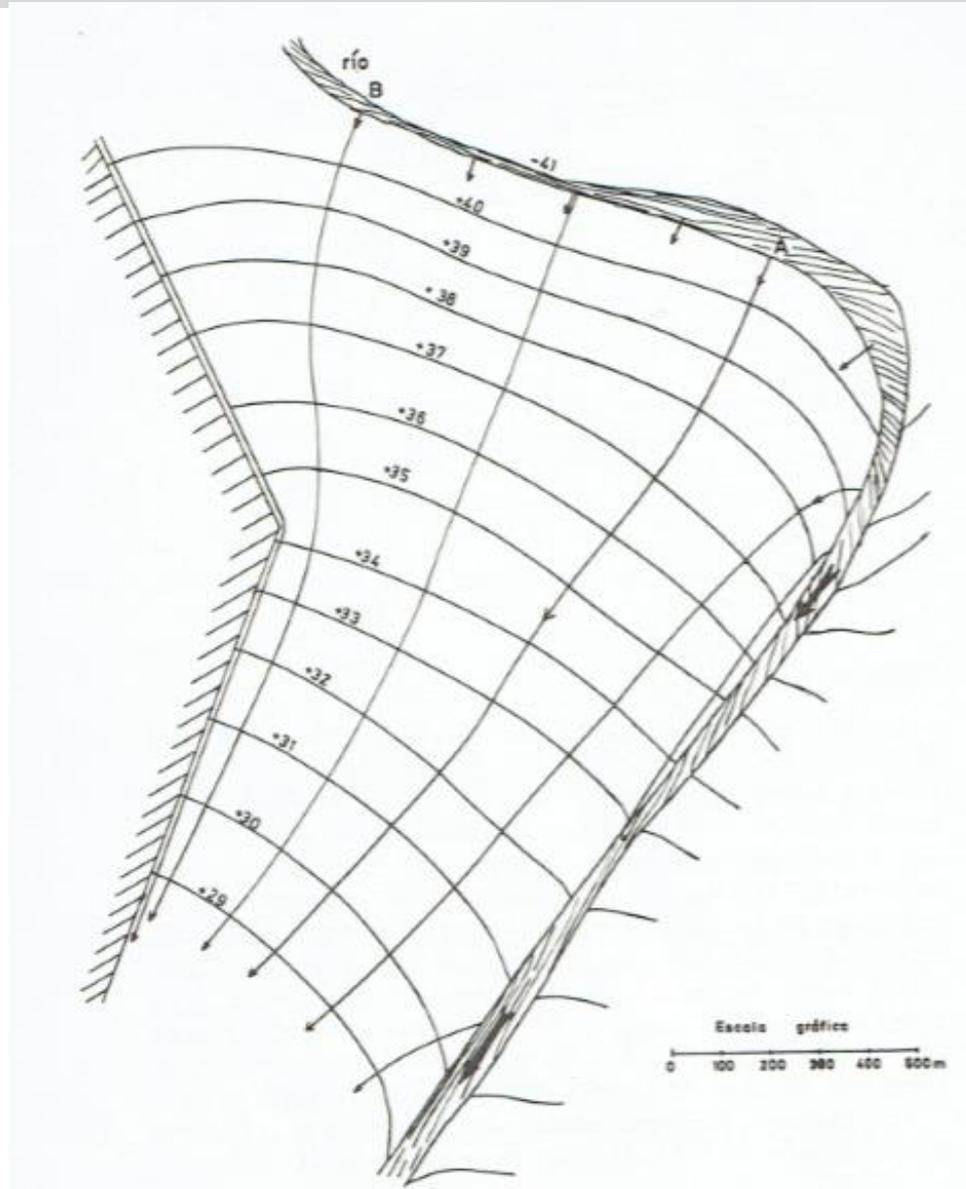
Los tubos de flujo tienen un espesor de:

- 850m en la curva +40
- 800m en la curva +37
- 320 en la curva +30

Entre las curvas +40 y +30 hay una superficie de 770.000 m² y entre las curvas +40 y +37 una superficie de 264.000 m².

La distancia entre las isopiezas +41 y +39 es de 200m, entre +38 y +36 es de 250m y entre +31 y +29 es de 350m.

SUPERFICIES PIEZOMÉTRICAS-EJEMPLO



SUPERFICIES PIEZOMÉTRICAS-EJEMPLO

Análisis Cuantitativo de Superficies Piezométricas Custodio y Llamas (1983)

- Caudal medio recargado por el río en el tramo AB.
- Calcular la K media en la isopieza +30.
- Calcular la transmisividad media a lo largo de la isopieza +37

Rta:

$$i+40=2/200=0.01,$$

$$i+37=2/250=0.008,$$

$$i+30=2/350=0.0057$$

$$a) Q=K*i*S=200\text{m/d}*0.01*850*5.5=9350\text{m}^3/\text{d}$$

$$b) \text{ Entre } +40 \text{ y } +30$$

Entradas-Salidas+Aportaciones= Δ almacenamiento

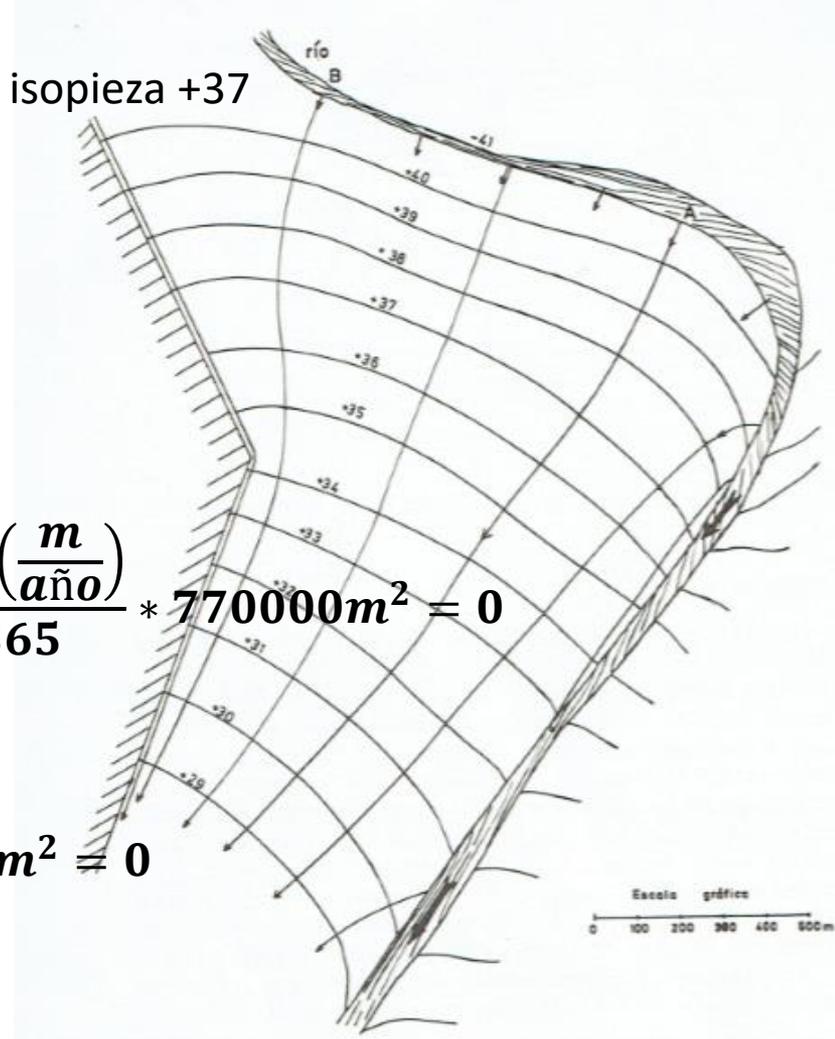
$$9350 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} - k * 0.0057 * 320\text{m} * 11.5\text{m} + \frac{0.1 \left(\frac{\text{m}}{\text{año}} \right)}{365} * 770000\text{m}^2 = 0$$

$$K=456 \text{ m/d}$$

$$c) \text{ Entre } +40 \text{ y } +37$$

$$9350 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} - 800T * 0.008 + \frac{0.1 \left(\frac{\text{m}}{\text{d}} \right)}{365} * 264000\text{m}^2 = 0$$

$$T=1472 \text{ m}^2/\text{d}$$



BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Custodio, E., & Llamas, M. R. (1983). Hidrogeología subterránea. Ed. *Omega*, 2.
- ❖ Escuder, R., Fraile, J., Jordana, S., Ribera, F., Sánchez-Vila, X., & Vázquez-Suñé, E. (2009). Hidrogeología. *Conceptos básicos de Hidrología Subterránea. Publicado por la Fundación Internacional de Hidrología Subterránea (FCIHS), Barcelona, España. Editor: Comisión Docente Curso Internacional de Hidrología Subterránea, 768.*
- ❖ Fetter, C. W. (2018). *Applied hydrogeology*. Waveland Press.
- ❖ Freeze, R. A., & Cherry, J. A. (1979). *Groundwater* (No. 629.1 F7).