

Capítulo 1: Conceptos Básicos en Hidrogeología

1. Introducción

La Hidrogeología es una disciplina científica que estudia las aguas subterráneas. Sus métodos de análisis son los propios de la Ciencia, pero en Chile se ha desarrollado de manera diferente a lo ocurrido en otros países. Mi opinión es que esta situación se debió a que quienes más se dedicaron inicialmente a la explotación de aguas subterráneas fueron ingenieros quienes, por formación, estaban más interesados vocacionalmente en la conducción de equipos de perforación.

Desde el punto de vista legal, las aguas subterráneas son aquellas que se encuentran bajo la superficie terrestre; pero la Hidrogeología debe analizar parte de las aguas superficiales ya que de ellas provienen las subterráneas. Casi la totalidad de las aguas subterráneas debe su origen a la infiltración de aguas superficiales, pudiendo haber ocurrido dicha infiltración en tiempos actuales o en tiempos muy antiguos. Es también cierto que en ciertas condiciones los acuíferos alimentan los cauces superficiales.

Sobre la base de determinaciones de edad de aguas subterráneas hechas por métodos radioactivos, se ha establecido que algunas aguas subterráneas se originaron hace más de 20.000 años, hecho comprobado en la Pampa del Tamarugal, en la I Región del país.

Creo que se aplican conceptos errados respecto de las aguas subterráneas en Chile que explican, en parte, que el estado actual de este recurso vital pueda ser calificado como caótico e irracional.

La primera idea errada está en el actual Código de Aguas que, al otorgar derechos de aprovechamiento sobre captaciones, lo hace en el carácter de permanente y continuo. Cualquier profesional capacitado en materias básicas de la Hidrogeología sabe perfectamente que la depresión en una captación sometida a bombeo en forma ininterrumpida, es función directa del tiempo. Si el tiempo de bombeo aumenta, la depresión aumenta.

Por lo tanto no se puede otorgar un derecho de aprovechamiento para ser ejercido como lo dictamina el Código de Aguas. La teoría y la práctica demuestran sin lugar a dudas que el sistema legal de manejo de aguas subterráneas es irracional y desconoce este aspecto fundamental del funcionamiento del agua subterránea.

El segundo concepto que en mi opinión está profundamente errado, es la inagotabilidad del recurso; el comportamiento de autoridades y usuarios evidencia la creencia de que nunca se puede agotar y, en consecuencia, el otorgamiento de derechos excede en mucho la disponibilidad real de aguas subterráneas.

Creo que este concepto de inmensidad de los embalses subterráneos puede haber sido originado por una lectura rápida del primer capítulo del libro *Ground Water and Wells* en que se señala, casi textual, que **"del total de agua dulce en estado líquido que hay sobre los continentes, un 97% es agua subterránea"**.

Lo que se omitió decir es que dicha afirmación, en el evento de que sea correcta, puede ser válida para un cierto momento, pero no considera la alta renovación del agua superficial, que en muchos casos es anual. El tránsito del agua superficial desde las altas cumbres hasta llegar al mar puede demorar algunos días. Como contrapartida el tránsito del agua subterránea puede tardar, en algunos casos, miles de años, pues se han determinado velocidades del orden de 1 mt./día.

Por tanto la comparación simplista que se repite con frecuencia, es incompleta e inexacta y mueve a errores de apreciación significativos.

Otro aspecto que incide en el mal estado en que se encuentran las aguas subterráneas en Chile es la pérdida de una escuela de formación de los equipos técnicos como en un momento lo fueron el MOP y la CORFO. Se constata con demasiada frecuencia que el personal de faenas no sólo está débilmente capacitado, sino que además la ética es flexible y ha cedido a los incentivos económicos. Ex perforistas de Corfo que hoy trabajan en empresas privadas me han confidenciado que les resulta difícil desenvolverse en ellas si hacen su trabajo como fueron instruidos.

Mi experiencia se traduce en que la información que se me proporciona sobre una captación la someto siempre a duda y la valido antes de hacer cualquier análisis. Tan extrema es la situación que solo analizo pruebas de bombeo que yo he hecho. No estoy refiriéndome a errores propios del quehacer humano. Me refiero concretamente a engaños fraudulentos.

2. Ciclo Hidrológico

Se aplica este término al proceso mediante el cual las aguas de los océanos, lagos, lagunas, suelo, etc., se evaporan hacia la atmósfera, se mueven hacia los continentes y, si se dan ciertas condiciones meteorológicas, se transforman en precipitaciones (líquidas y sólidas), escurren por la superficie de la Tierra en esteros y ríos, se infiltran en el suelo alimentando los embalses subterráneos y escurren nuevamente hacia lagos y océanos desde donde vuelven evaporarse y así sucesivamente. (Figura N° 1).

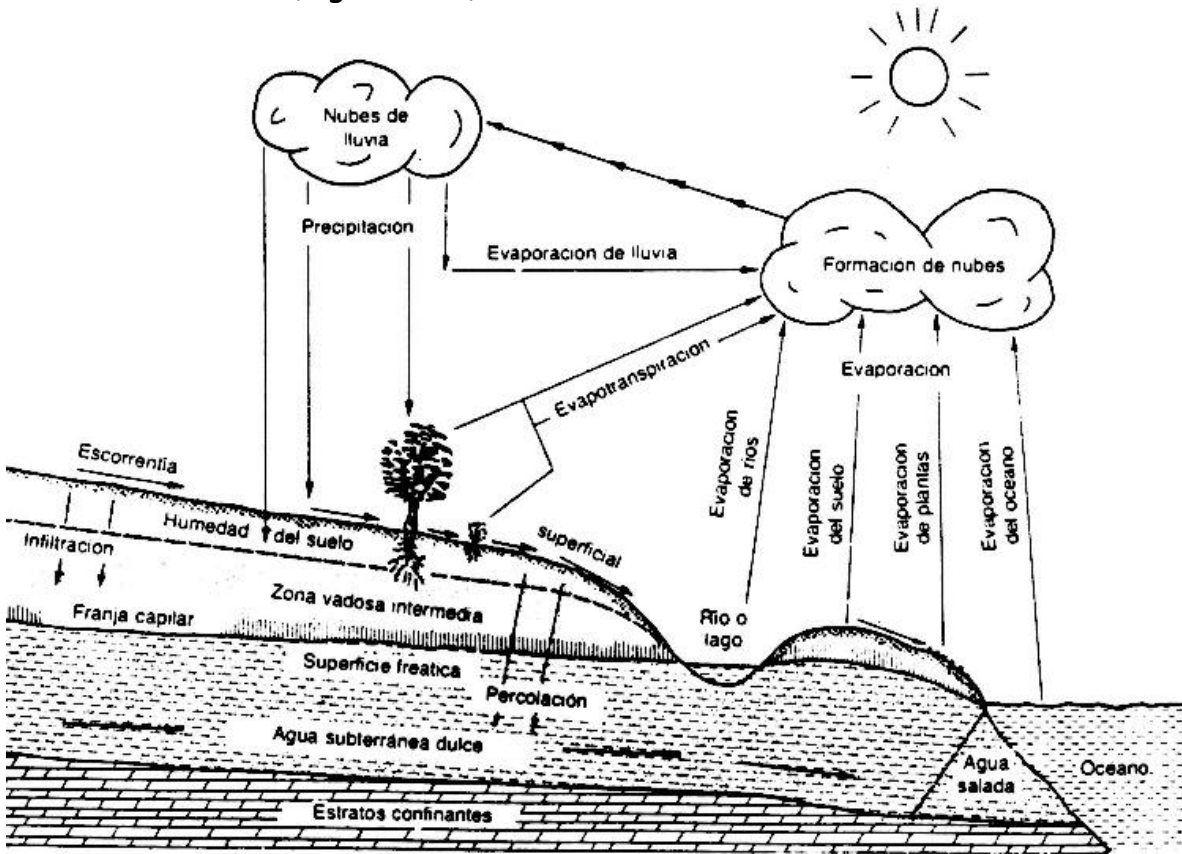


Figura N° 1: Ciclo Hidrológico

Desde el punto de vista de la Hidrología hay tres elementos del Ciclo Hidrológico que deben destacarse en relación con los embalses de agua subterránea: Recarga, Movimiento y Descarga.

La recarga es la alimentación que reciben los embalses subterráneos y esta puede ocurrir por infiltración directa de aguas lluvias, infiltración debida al regadío y la que pueden recibir desde cauces superficiales de agua tales como ríos, esteros, canales, lagos y lagunas.

La descarga representa las salidas de agua desde el embalse subterráneo y puede ocurrir por explotación artificial mediante captaciones, por evaporación desde el suelo cuando el nivel de agua se encuentra próximo a la superficie del terreno, por descarga en cuerpos de agua como el océano cuando existe una debida conexión, por alimentación a cauces superficiales de agua como ríos, esteros y canales.

El movimiento se refiere a la circulación del agua subterránea a través de los acuíferos, el que dependerá de los Coeficientes Elásticos de los acuíferos.

Un ejemplo cercano del mecanismo de transferencia de aguas subterráneas y aguas superficiales ocurre en el Río Aconcagua; en la 1ª Sección principalmente hay aporte del río al embalse subterráneo mientras que a partir de la 2ª Sección el esquema se invierte y es el embalse subterráneo que alimenta al río en lo que se conoce como recuperaciones.

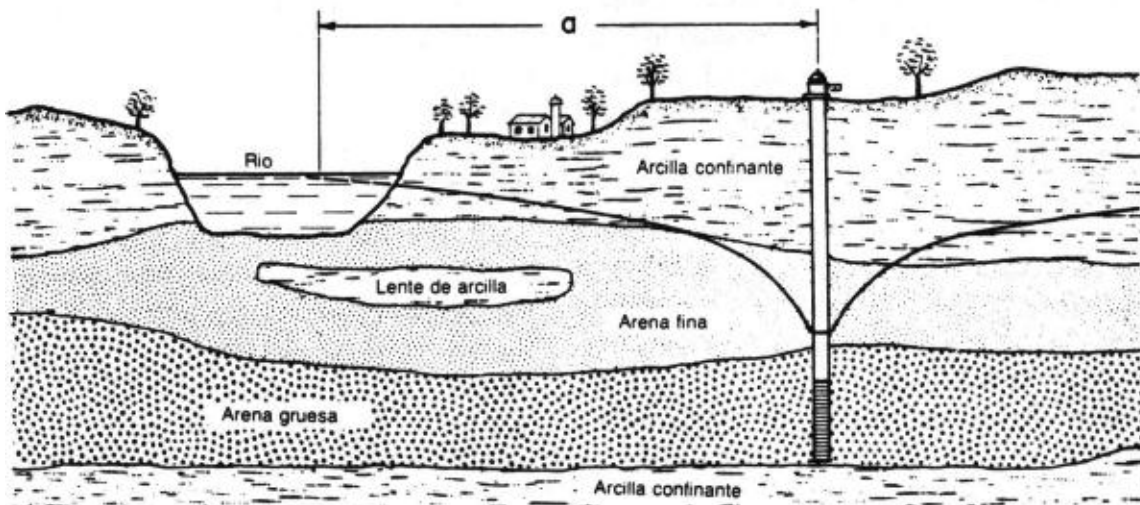


Figura N° 2: Relación Río - Acuífero

3. Acuíferos

Se define como acuífero a toda unidad geológica que es capaz de contener y transmitir agua; la condición es doble: no solo debe contener sino que, además, debe transmitir el agua para ser considerado acuífero, independientemente que ambos parámetros puedan, como ocurre, variar entre límites muy amplios.

Para mejor comprender qué es un acuífero es previo definir el concepto de porosidad la que frecuentemente se refiere a la Porosidad Total.

Esta es el cociente entre el Volumen de huecos interconectados y el Volumen Total de una muestra. Se hace mención explícita a huecos interconectados, pues hay unidades geológicas que poseen huecos no conectados y por tanto no aportan a la Porosidad Total.

Pero la Porosidad Total se compone de dos partes: la Porosidad Efectiva y la Retención Específica y su distinción es fundamental. (figura N° 3)

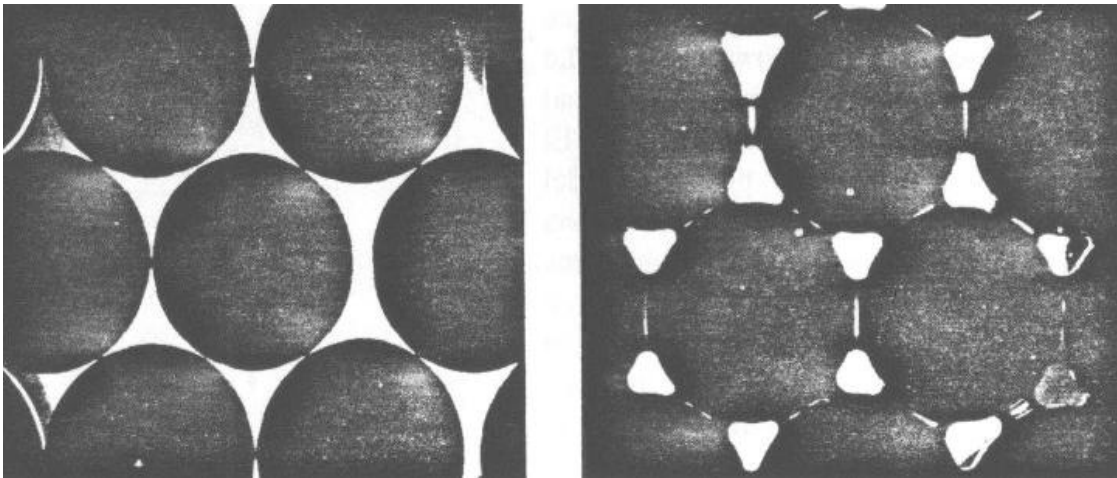


Figura N° 3 : Porosidad Efectiva y Retención Específica

Si una muestra, por ejemplo arenas, se satura, es decir, se le agrega agua hasta completar todos sus huecos y luego se le deja drenar gravitacionalmente, un cierto volumen de agua se desprenderá rápidamente al comienzo y luego muy lentamente. El volumen de agua drenado gravitacionalmente dividido por el volumen total de la muestra es lo que se define como Porosidad Efectiva y se expresa en %.

El volumen de agua que queda retenida en la muestra y que no puede ser drenado bajo los efectos de la gravedad, dividido por el volumen total de la muestra es lo que se define como Retención Específica.

La suma de la Porosidad Efectiva y la Retención Específica es la Porosidad Total.

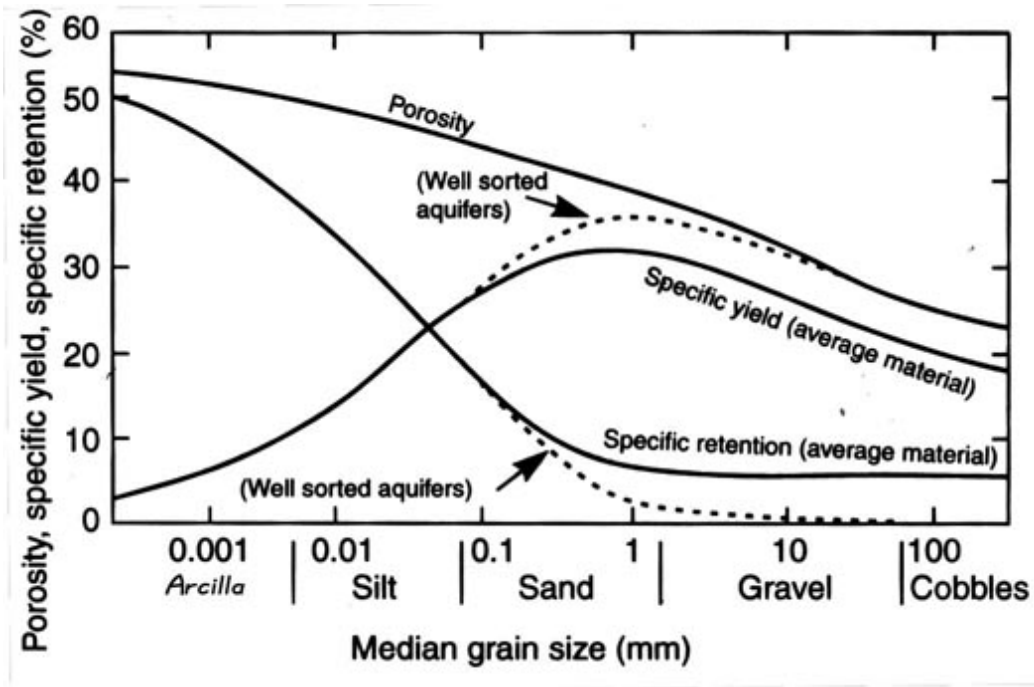


Figura 4

Un buen acuífero es aquel que posee una alta Porosidad Efectiva y, por lógica consecuencia, una baja Retención Específica. En determinaciones hechas en arcillas del delta de algunos ríos se han determina porosidad totales del orden del 95%, pero la casi totalidad es debida a la Retención Específica: contienen mucha agua, pero la retienen en su totalidad. (Figura N° 4).

4. Zonificación del agua subterránea

Si hacemos un corte en el terreno, por ejemplo en Con-Con, podremos describir la zonificación vertical del agua subterránea. (Figura N° 4).

Se distinguen dos zonas principales:

- a) Zona parcialmente saturada y
- b) Zona totalmente saturada.

En la zona parcialmente saturada solo una parte de los huecos se encuentran con agua. Mientras que en la zona saturada todos los huecos se encuentran totalmente saturados. El límite que separa ambas zonas es el Nivel Estático, espejo de agua o "nivel de la napa" que, en el caso de Con-Con, se encuentra a muy poca profundidad. En otras zonas del país este límite se encuentra a profundidades considerables, excediendo en algunos caso los 100 metros como es el caso de Putaendo. (Figura N° 5).

En la primera zona registra tres tipos de agua:

- a.1. agua del suelo que es aquella agua que se encuentra adherida a lo que se conoce como suelo
- a.2. Agua colgada que es aquella que se encuentra suspendida por sobre el nivel real de agua, debido a la existencia de verdaderas bateas de arcilla que impiden al agua percolar a mayores profundidades.
- a.3. Agua capilar que es aquella que por efecto de la capilaridad asciende por sobre el nivel de aguas subterráneas.

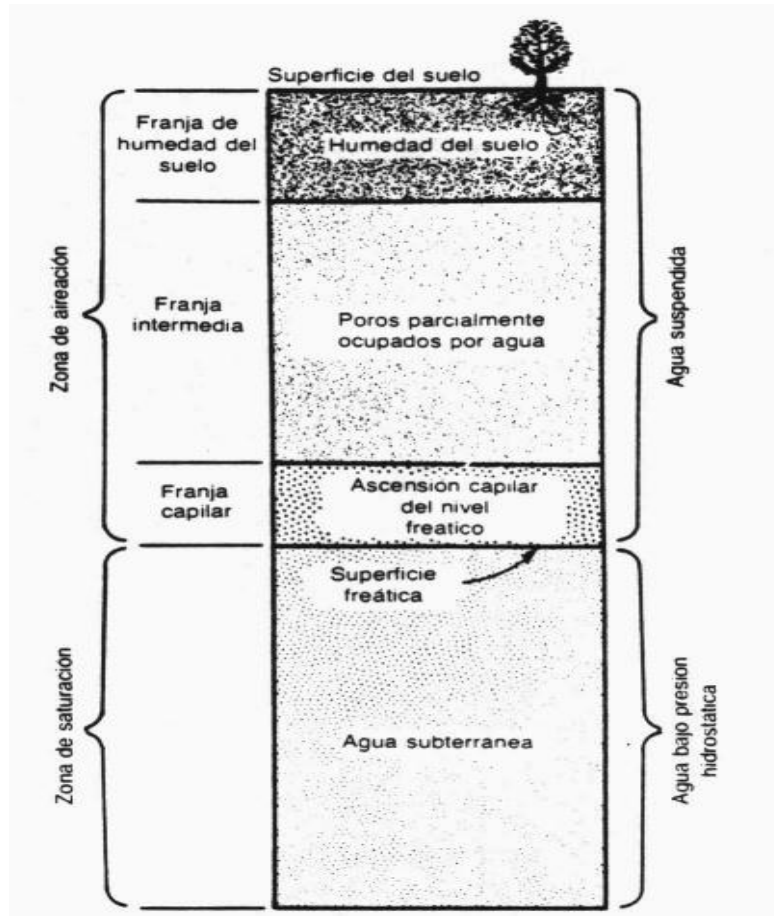


Figura N° 5: Zonificación Vertical del agua subterránea

En la siguiente zona, la saturada, existen dos situaciones:

b.1. Zona freática. Es aquella en la cual el nivel de agua se encuentra en equilibrio con la presión atmosférica. Es el nivel de agua por así decirlo normal. Es el que se detecta en norias, punteras, pozos someros y también en algunos pozos profundos.

b.2. Zona confinada. Registra agua en presión, es decir, si se perfora un pozo y se atraviesa la capa que confina este tipo de agua subterránea, el nivel de agua sube por sobre la base de la capa confinante, pudiendo alcanzar la superficie y surgir por sobre la boca del pozo hasta varios metros. Es lo que algunos conocen como pozos o acuíferos artesianos, nombre derivado de la Cuenca de Artois en Francia que fue el primer lugar en que se perforó un pozo que tuvo estas características.

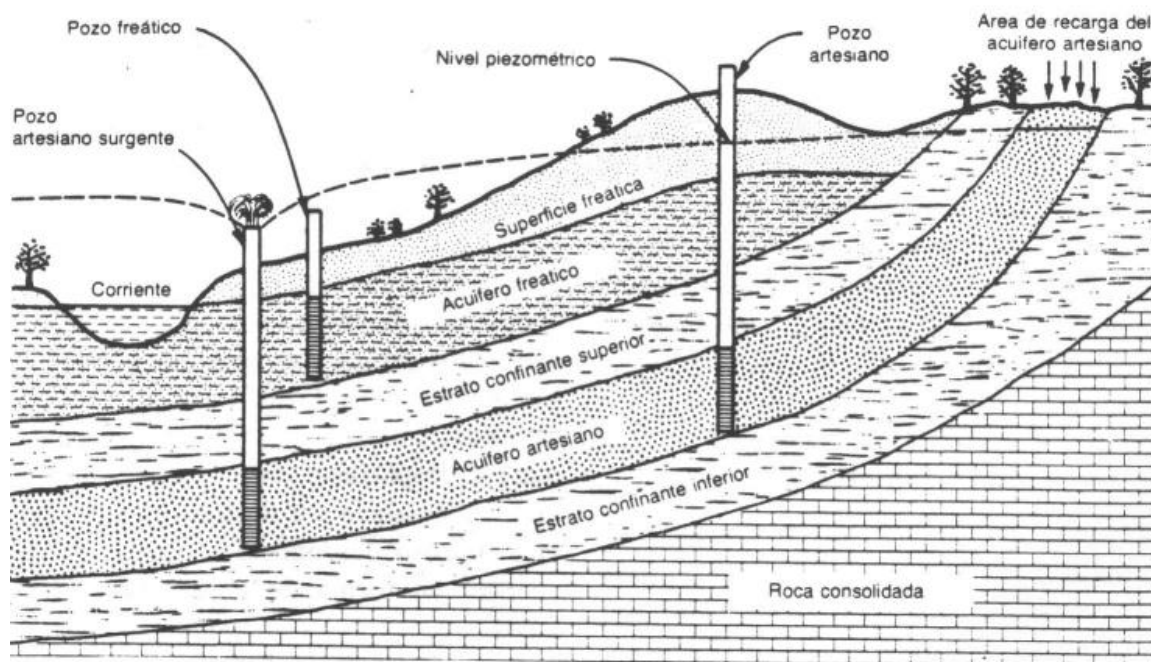


Figura N° 6: Sección Transversal

En el caso de Con-Con bajo el acuífero freático existe una capa de arcillas orgánicas de color gris verdoso, bajo la cual se encuentra la zona confinada que ha sido habilitada en algunos de los pozos de la Planta de ESVAL. Esta capa impermeable es la que impide que el agua pueda subir pese a encontrarse bajo presión.

Bajo la capa anterior se encuentra un acuífero confinado, es decir, bajo presión, o lo que es lo mismo bajo presión superior a la presión atmosférica. Si mediante una perforación atravesamos totalmente la capa de limos confinante antes mencionada y penetramos en el acuífero, el nivel de agua subirá alcanzando una cota superior a la base de dicha capa o, lo que es lo mismo, sobre el techo del acuífero.

En algunos casos la presión del agua es tal que el nivel de agua puede superar la superficie del terreno en cuyo caso se usa el término surgente.

5. Movimiento del agua subterránea

Para que el agua subterránea se mueva a través de los acuíferos se requiere de la existencia de un Gradiente Hidráulico. Este gradiente es similar al gradiente topográfico. El agua subterránea se mueve desde un punto de mayor cota hidráulica hacia uno de menor.

Se mide la cota del nivel de agua de un pozo y se le resta la correspondiente a otro, el resultado se divide por la distancia horizontal entre ambos y el resultado de la operación es el gradiente hidráulico.

Debe tenerse cuidado, pues un gradiente hidráulico del 1% (uno por ciento), en los algoritmos hidrogeológicos, se expresa como 0.01 y no 1.

Esta acotación es especialmente indicada cuando se calcula el caudal pasante a través de una sección transversal de un valle que se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Q = T * i * L \text{ m}^2/\text{día}$$

El significado de los términos de la expresión anterior es:

T = Transmisibilidad medida en $\text{m}^3/\text{día}/\text{m} = \text{m}^2/\text{día}$

i = Gradiente hidráulico en %

L = Ancho de la sección transversal medida en metros