



EXPLORACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

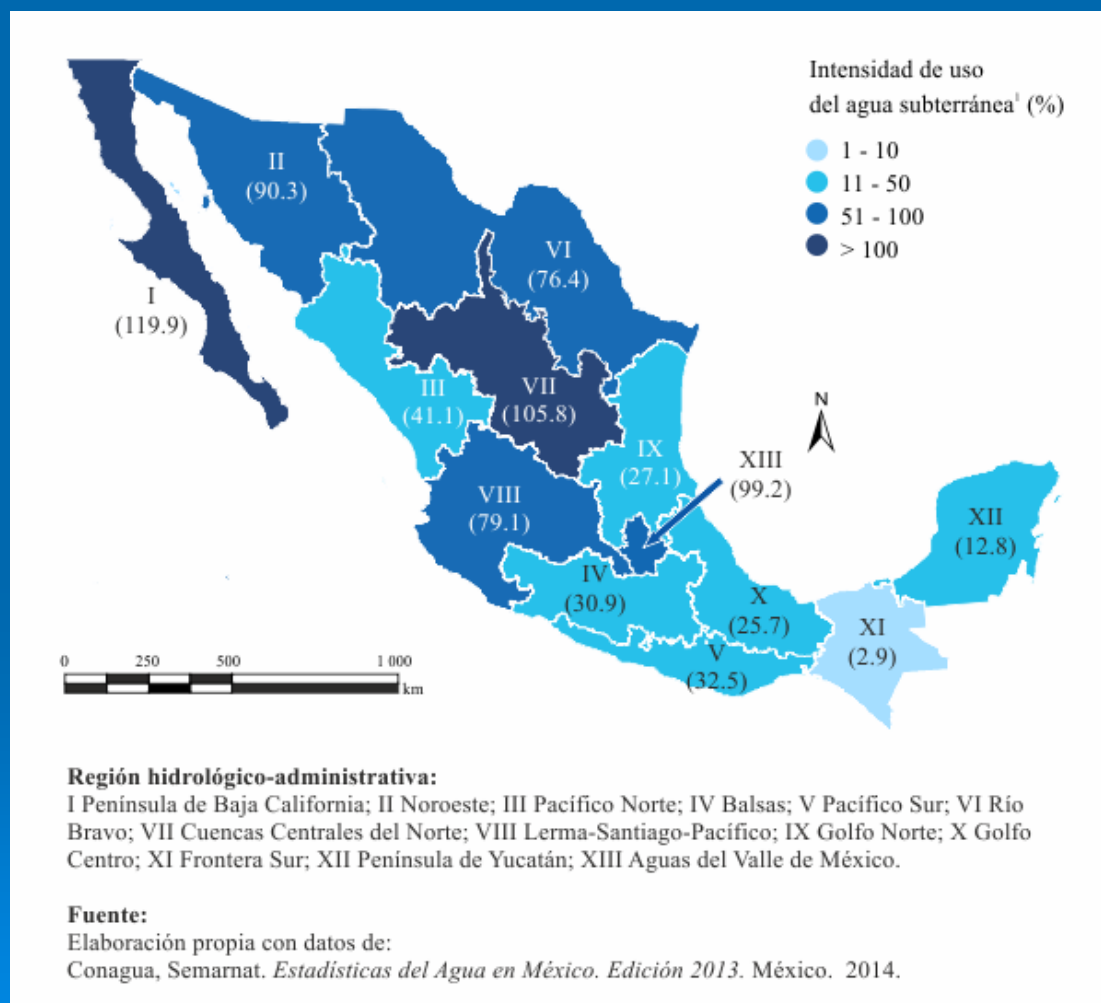
UNIDAD 3 METODOS DE CUANTIFICACIÓN Parte 1

Reservas y recursos de agua subterránea.

¿Cuánta agua se puede extraer de un acuífero? ¿Cómo cuantificar dicha futura extracción? Dos escuelas hidrológicas responden a esta interrogante, la europea lo hace con el concepto recursos explotables y la norteamericana con la producción o caudal seguro (safe yield) o similares, (caudal perenne, caudal sustentable). Para iniciar con este tema hay que repasar y entender algunos conceptos, como; cual es la definición de reserva de agua subterránea, de recurso de agua subterránea y de caudal seguro



Reservas y recursos de agua subterránea. México



CONCEPTUALIZACIÓN

Reserva: Es la cantidad de agua almacenada en el acuífero que puede drenar por la acción de la gravedad, o sea, la parte del volumen de saturación que no queda adherida de una u otra forma a las partículas en el proceso de extracción del agua. Las reservas se expresan en unidades de volumen y equivalen al producto del volumen de la estructura del acuífero y su porosidad efectiva.

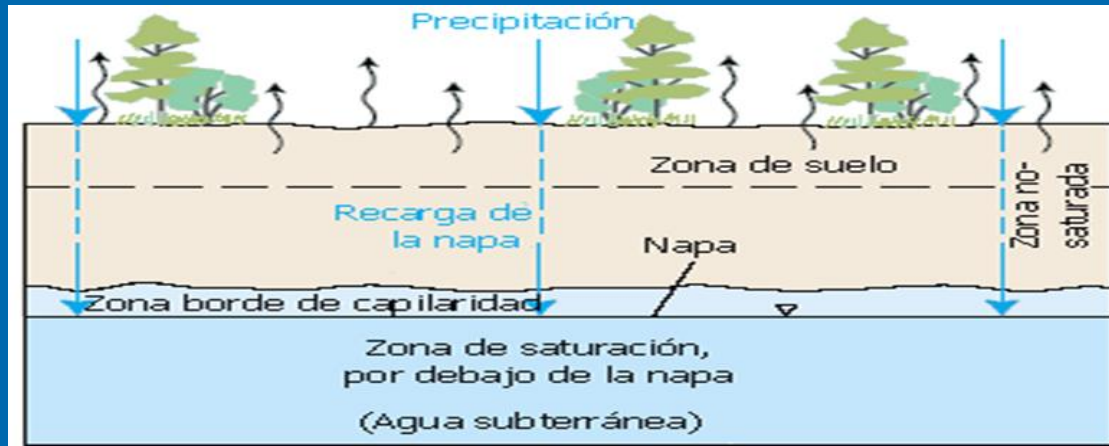
Debido a las fluctuaciones del nivel de la superficie freática mínima en acuíferos libres el volumen de agua subterránea almacenada en el acuífero (Reserva) varia, por lo que en un año hidrológico cualquiera se puede distinguir

Reservas mínimas: (reservas permanentes) La limitada por la superficie freática mínima o de estiaje, que se corresponde con el caudal mínimo de escurrimiento subterráneo.

Reservas máximas: La limitada por la superficie freática máxima, que se corresponde con el caudal máximo de escurrimiento subterráneo.

Variación de la reserva: Es la diferencia de volumen entre la reserva máxima y la mínima.

CONCEPTUALIZACIÓN



Recursos disponibles: Volumen total de agua, expresado en forma de caudal, que se podría extraer permanentemente a largo plazo del acuífero, sin que se experimente una disminución en las reservas permanentes.

Recursos explotables: Representa el caudal que se puede extraer de un yacimiento, teniendo en cuenta condiciones racionales de explotación, técnicas y económicas (concepción de la obra de captación, su disposición, índices económicos, ecológicos etc.), bajo un régimen de explotación dado y sin alterar la calidad del agua durante el periodo de cálculo previsto para la obra de captación

CONCEPTUALIZACIÓN

Caudal seguro (Safe Yield) SY:

Es el caudal medio anual extraído artificialmente del acuífero, sin que se deriven resultados indeseables.

Pudiendo considerar como efectos indeseables los siguientes;

- a) Bajo el punto de vista hidrológico: que se exceda la recarga anual, teniendo en cuenta que, con frecuencia, un incremento del bombeo aumenta la recarga.
- b) Bajo el punto de vista económico: que los niveles piezométricos desciendan por debajo de la profundidad económica de bombeo.
- c) Bajo el punto de vista de la calidad: que se permita la entrada de aguas de calidad indeseable.
- d) Bajo el punto de vista legal: que se afecte los derechos e otros usuarios.

CONCEPTUALIZACIÓN

Caudal seguro (Safe Yield) SY:

Es el caudal medio anual extraído artificialmente del acuífero, sin que se deriven resultados indeseables.

Pudiendo considerar como efectos indeseables los siguientes;

- e) Bajo el punto de vista agrícola: que los acuíferos freáticos con el nivel poco profundo, éste no descienda lo suficiente como para dañar a la vegetación natural, paisaje y cultivos típicos de la zona.
- f) Bajo el punto de vista morfológico y geotécnico: que no se produzca una subsidencia del terreno con efectos adversos.

(No efectos indeseables en el contexto, económico, legal, social, medioambiental)

Como se puede ver los conceptos de safe yield y recursos de explotación son similares y no son constantes en el tiempo pues depende de numerosas variables.

CONCEPTUALIZACIÓN

Recientemente han aparecido otras definiciones que se utilizan indistintamente

- Caudal máximo sustentable
- Caudal permisible sustentable
- Caudal máximo de minado
- Caudal permisible de minado
- Caudal perenne

Una definición interesante es la que se usa en México, la “disponibilidad” (NOM-011-CNA-2000)

Disponibilidad: Es el volumen medio anual de agua que puede ser extraída de una unidad hidrogeológica para diversos usos, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida sin poner en peligro el equilibrio de los ecosistemas

Métodos para calcular los recursos disponibles y de explotación.

Existen diversos métodos entre los que destacan los siguientes;

1. Balance hídrico de un acuífero.
2. Fluctuaciones del nivel de la superficie piezométrica.
3. Rendimiento de obras de captación.
4. Caudal de escurrimiento subterráneo.
5. Método Hidrodinámico.
6. Método Hidráulico.
7. Métodos Hidrológicos.
8. Modelos Matemáticos de simulación.
9. Métodos diversos o especiales.

Métodos para calcular los recursos disponibles y de explotación.**1. Balance hídrico de un acuífero. (Disponibles)**

Determinación de los recursos a través de la evaluación de los distintos componentes del balance hídrico. Expresión del principio de la conservación de la materia en el acuífero:

$$V_i + [\text{Inf. eficaz} + \text{Rec. natural} + \text{Flujo subt.} + \text{Rec. Artificial}] - [\text{Evaporación} + \text{Desc. natural} + \text{Flujo subt.} + \text{Explotación}] = V_f$$

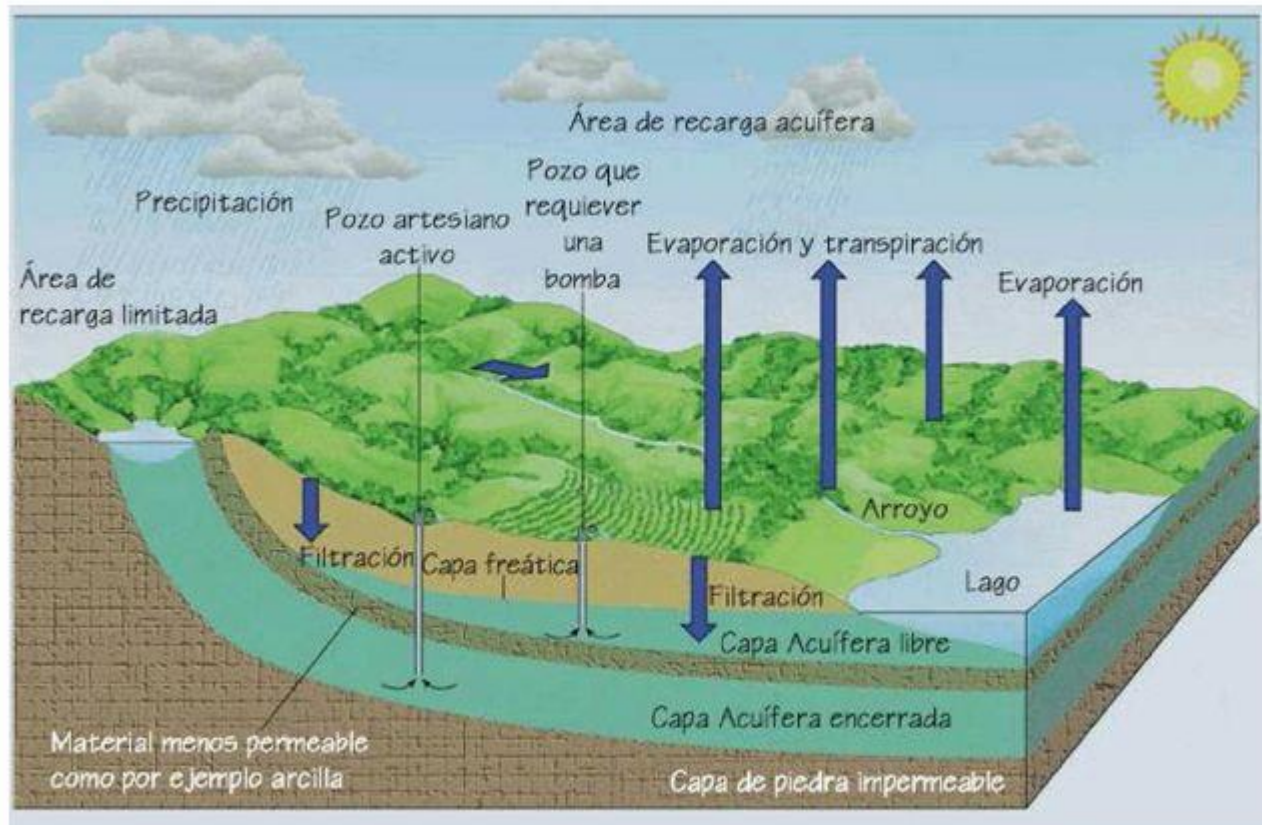
Donde: $V_f - V_i = V = Pe \cdot \Delta H \cdot A$

variación de las reservas muy importante en acuíferos libres.

Métodos para calcular los recursos disponibles y de explotación.

1. Balance hídrico de un acuífero. (Disponibles).

Figura 1. El ciclo hidrológico.



Fuente: www.planning.org/caces/graphics/Figura241

Métodos para calcular los recursos disponibles y de explotación.

$$Q_E = \alpha_1 Q_N + \alpha_2 \cdot V_N / t + \alpha_3 \cdot Q_{ART} + \alpha_4 \cdot V_{ART} / t + \alpha_5 \cdot Q_{AT} \quad (SY)$$

Donde:

α , coeficientes de utilización de recursos y reservas

Q_N , recursos naturales,

V_N , reservas naturales

Q_{ART} , recursos artificiales,

V_{ART} , reservas artificiales

Q_{AT} recursos atraídos

t , tiempo de diseño de las obras de explotación

Los autores anteriores identifican los recursos naturales con la infiltración eficaz o con el caudal del flujo subterráneo en condiciones naturales

Métodos para calcular los recursos disponibles y de explotación.

2.Método de las fluctuaciones del nivel de la superficie piezométrica. (R. Disponibles)

Este método puede aplicarse en condiciones naturales o de explotación pero sólo en acuíferos libres ya que implica variación de las reservas y recursos.

Castany por ejemplo, considera, que los recursos disponibles pueden calcularse en condiciones naturales sobre la base de las fluctuaciones del nivel de las aguas y los considera iguales a la variación anual media de las reservas.

Recomendaciones para su uso:

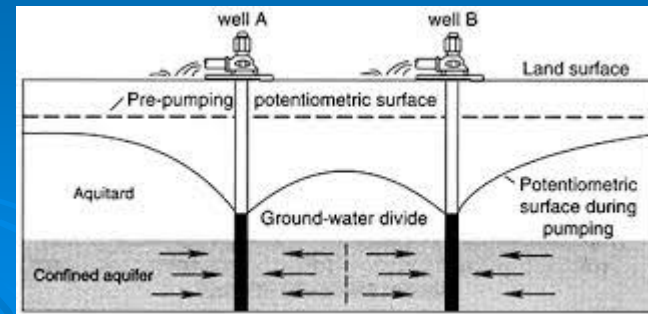
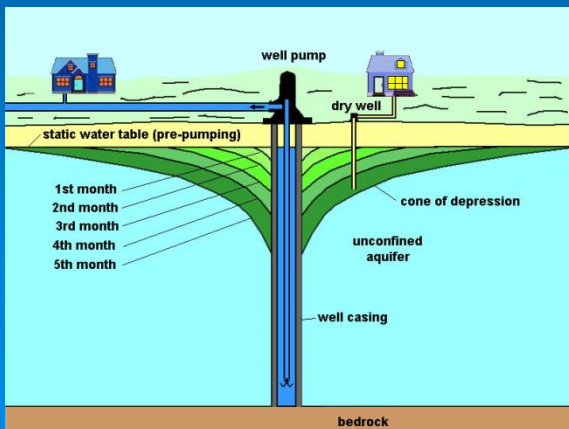
- a) Profundidad de nivel del agua subterránea respecto a la superficie del terreno (de 2 a 4 m al final período seco).
- b) La porosidad efectiva está referida a la zona de variación de los niveles, .
- c) Los recursos varían de año en año y es necesario hacer un análisis estadístico de una serie larga para definir el valor medio.

Métodos para calcular los recursos disponibles y de explotación.

3. El rendimiento de las obras de captación. (SY)

El rendimiento a largo plazo de las distintas obras de captación existentes en un acuífero determinado, en combinación con el análisis de los efectos que sobre el nivel de las aguas subterráneas, su calidad, etc., causa el régimen de explotación existente, son elementos que pueden servir de base a la determinación de los recursos explotables.

El abatimiento admisible del nivel del agua subterránea es uno de los factores más importantes que determinan los recursos explotables, el cual depende tanto de las condiciones geológicas como de las obras de captación y también del tipo de acuífero. Resulta necesario determinar también el efecto de la interferencia de los pozos.



Métodos para calcular los recursos disponibles y de explotación.

4. Caudal del escurrimiento subterráneo (R. Disponibles)

El caudal del escurrimiento subterráneo Q_s , se considera como un índice y a veces hasta la representación de los recursos disponibles por algunos especialistas, Plotnikov, Bindeman, Castany, por ejemplo. Normalmente el método se emplea como comprobación de la evaluación de recursos.

El método consiste en general en calcular el caudal que atraviesa una sección transversal determinada del acuífero. Si esa sección está situada de forma tal que es posible considerar que todo el flujo que se mueve desde la zona de recarga hasta la zona de descarga del acuífero, pasa por ella, el caudal del escurrimiento subterráneo será una buena representación de los recursos disponibles aguas arriba de la zona.

Métodos para calcular los recursos disponibles y de explotación.

4. Caudal del escurrimiento subterráneo (R. Disponibles)
Ejemplo:

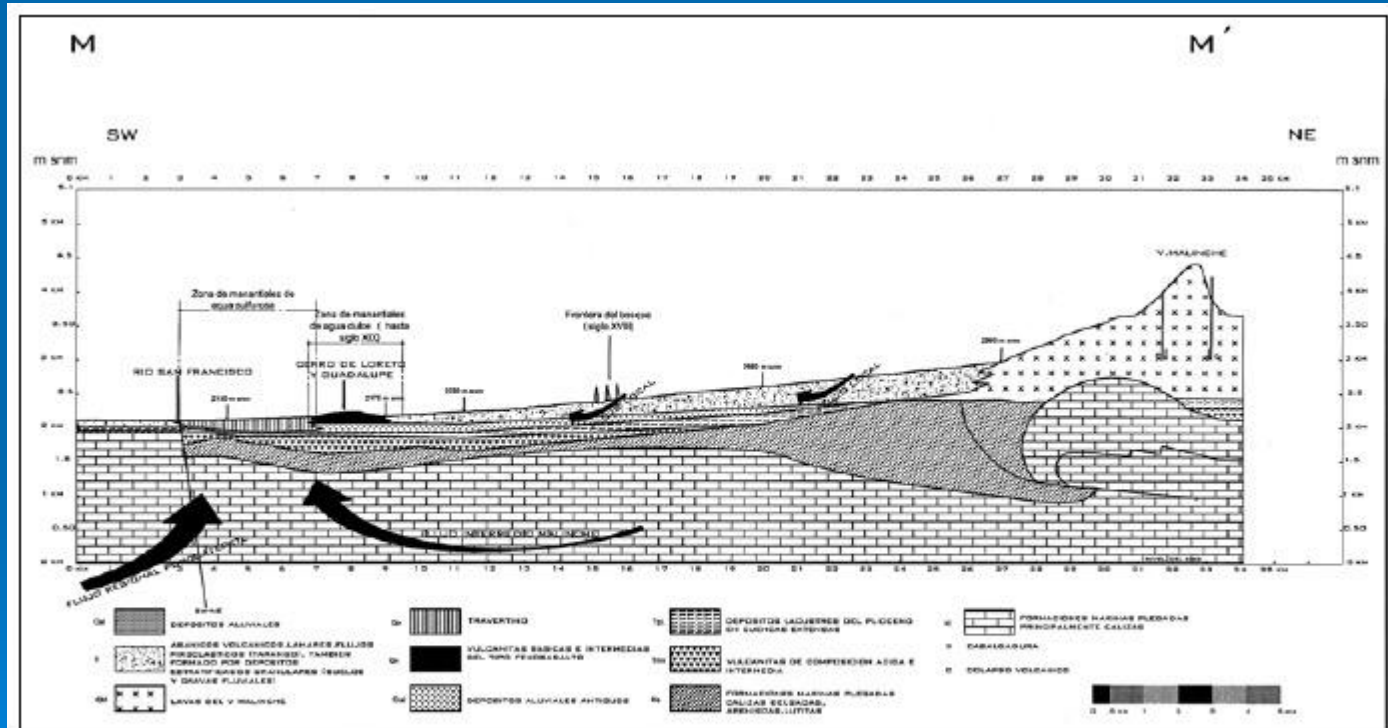


Figura 4. Sistemas de flujo de agua subterránea que convergen en la microcuenca del río San Francisco (modificado de Geotecnología..., 1997).

Métodos para calcular los recursos disponibles y de explotación.

4. Caudal del escurrimiento subterráneo (R. Disponibles)

La sección transversal seleccionada deberá ser perpendicular a las líneas de corriente, es decir, deberá estar situada aproximadamente a lo largo de una misma curva isopiéctica.

Los cálculos de Q_s pueden hacerse por varios métodos La forma de la sección transversal y el espesor saturado del acuífero varía generalmente en todo el ancho, al igual que sus propiedades hidrogeológicas, por lo que es común dividirla en tramos y .

El cálculo de Q_s se hace siempre sobre mapas de hidroisohipsas para diferentes períodos, época de seca, de lluvia, por ejemplo. O sea, puede hablarse de Q_s , mínimo, máximo, medio, etc.

Métodos para calcular los recursos disponibles y de explotación.

5. Método hidrodinámico (R. Disponibles y explotables, S_y)

Este método se basa en las relaciones analíticas de la hidráulica subterránea o de la hidrogeología en general, muchas de las cuales se usan como relaciones básicas en la modelación del agua subterránea.

El uso de estas formulas no presenta complejidad, el detalle conocer cual usar en cada caso particular a que nos enfrentemos, es decir, su uso está en dependencia del esquema que hagamos del acuífero que nos ocupa.

Métodos para calcular los recursos disponibles y de explotación.

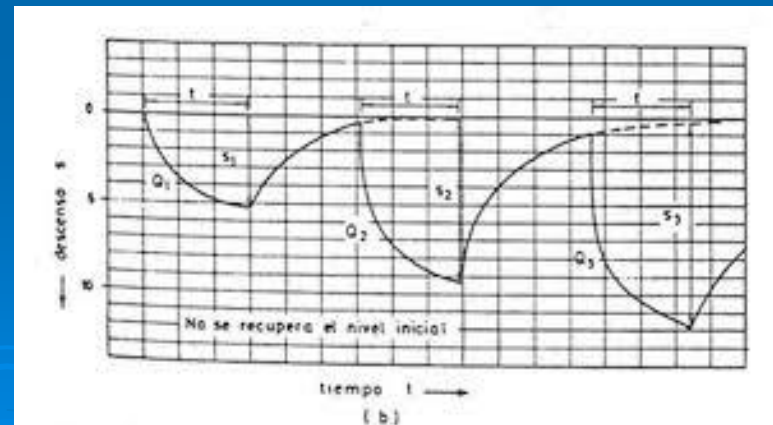
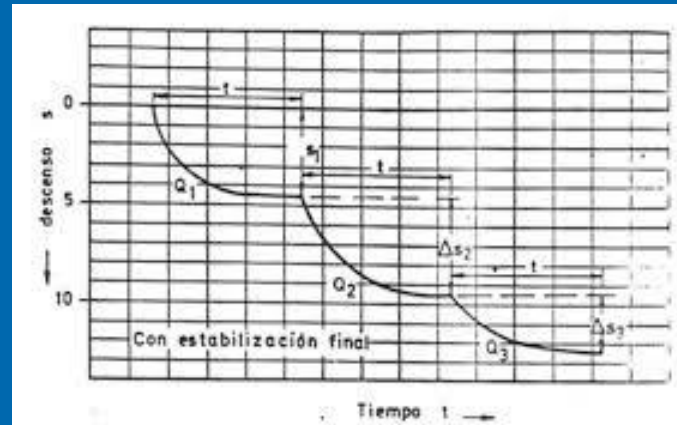
6. Método hidráulico (R. Disponibles y explotables, S_y)

Se fundamenta en predecir el abatimiento para un caudal de explotación determinado a partir de los resultados de abatimientos obtenidos con otro caudal o caudales bajo condiciones de casi equilibrio.

Este método se basa en relaciones empíricas obtenidas durante las pruebas de filtración de campo, dichas relaciones solo pueden obtenerse una vez se haya alcanzado el régimen de casi-equilibrio, por lo tanto, mientras que para el método hidrodinámico se utilizan solo los parámetros del sistema para este es necesario probar con el bombeo hasta que se estabilice el sistema. Es decir se calcula el abatimiento final del pozo

Métodos para calcular los recursos disponibles y de explotación.

6. Método hidráulico (R. Disponibles y explotables, S_y)



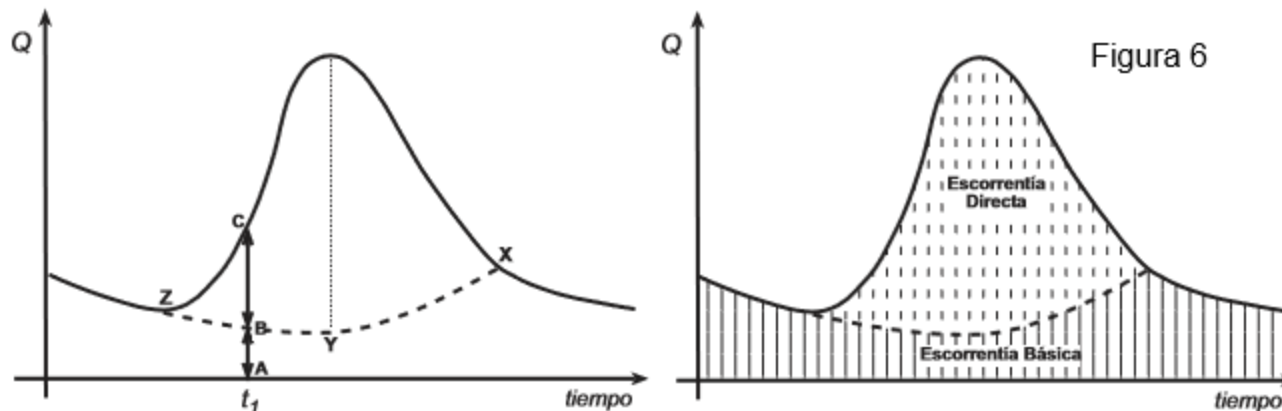
Métodos para calcular los recursos disponibles y de explotación.

7. Método hidrológico (R. Disponibles)

Separación de componentes

Consiste en distinguir qué parte del caudal es debido a escorrentía básica y qué parte a escorrentía directa (o simplificando: a escorrentía superficial y a escorrentía subterránea).

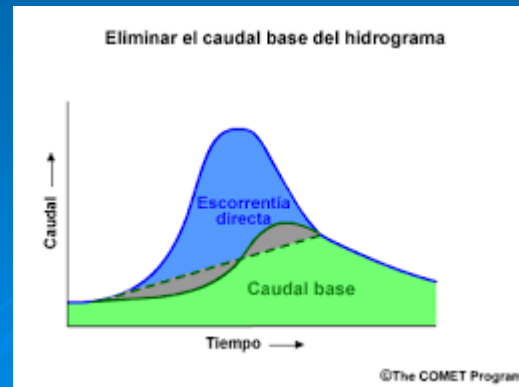
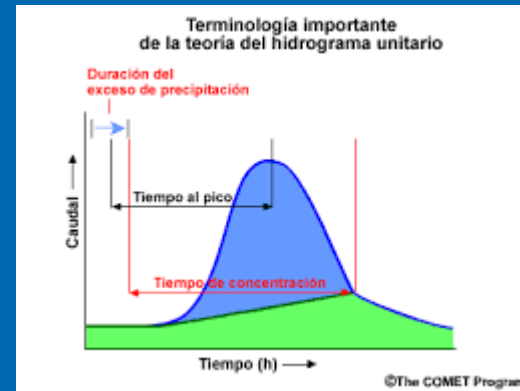
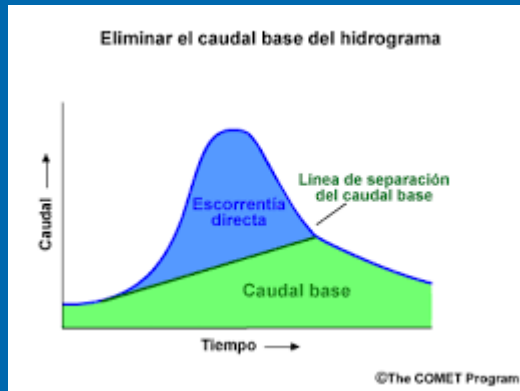
Existen varias aproximaciones gráficas a lo que realmente sucede. La más utilizada se realiza así: Prolongamos la curva de agotamiento previa a la crecida hasta la vertical de la punta del hidrograma (figura 6, trazo Z-Y), y luego unir ese punto con el comienzo de la curva de agotamiento que sigue a la crecida (figura 6, trazo Y-X).



Métodos para calcular los recursos disponibles y de explotación.

7. Método hidrológico (R. Disponibles)

Ejemplos típicos de separación de hidrogramas

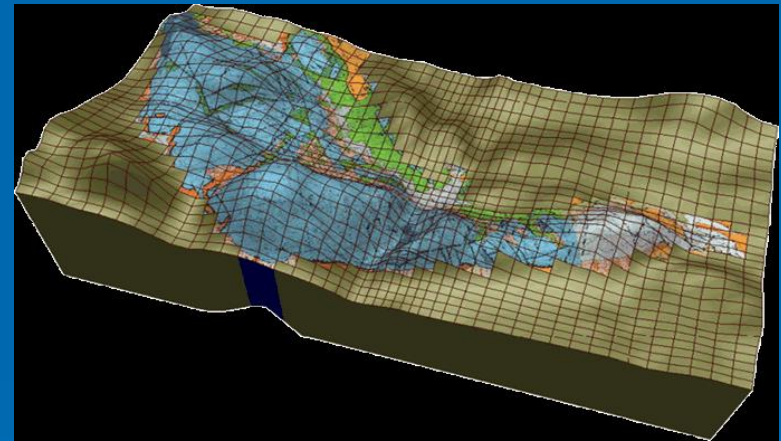


Métodos para calcular los recursos disponibles y de explotación.

8. Modelos matemáticos de simulación (R. Disponibles y explotables)

ELEMENTOS BÁSICOS

- Dominio del modelo
- Unidades hidroestratigráficas
- Propiedades hidráulicas
- Fronteras del modelo
- Régimen de Flujo
- Estimación de Recarga
- Estimación de Descarga



Métodos para calcular los recursos disponibles y de explotación.

8. Modelos matemáticos de simulación (R. Disponibles y explotables)

Soluciones numéricas

Ecuación general del flujo de agua subterránea

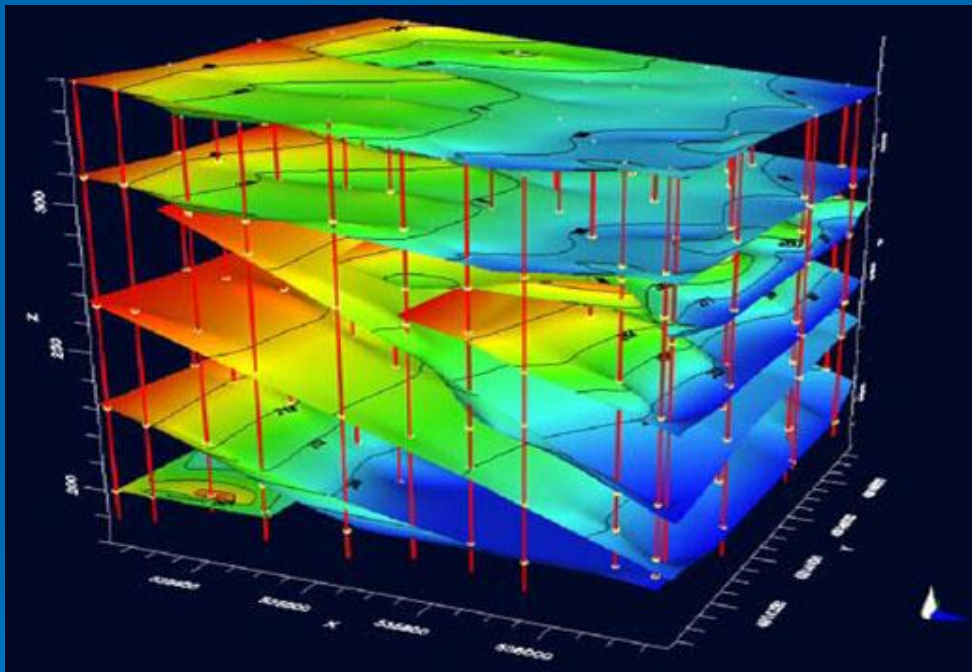
$$n \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} (h - z_s) \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xy} (h - z_s) \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yx} (h - z_s) \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} (h - z_s) \frac{\partial h}{\partial y} \right) + Q$$

Condiciones de contorno para las interacciones río-acuífero

1º Dirichlet	$h = H_o$	<i>Nivel impuesto</i>
2º Newman	$q = q_o$	<i>Flujo impuesto</i>
3º Cauchy	$q = -K \cdot L \frac{(h - H_o)}{b} = -\alpha (h - H_o)$	<i>Mixto (goteo)</i>
4º Cauchy	$-K (h - z_s) \frac{\partial h}{\partial x} = -K (h - z_s) \beta$	<i>Mixto (descarga)</i>

Métodos para calcular los recursos disponibles y de explotación.

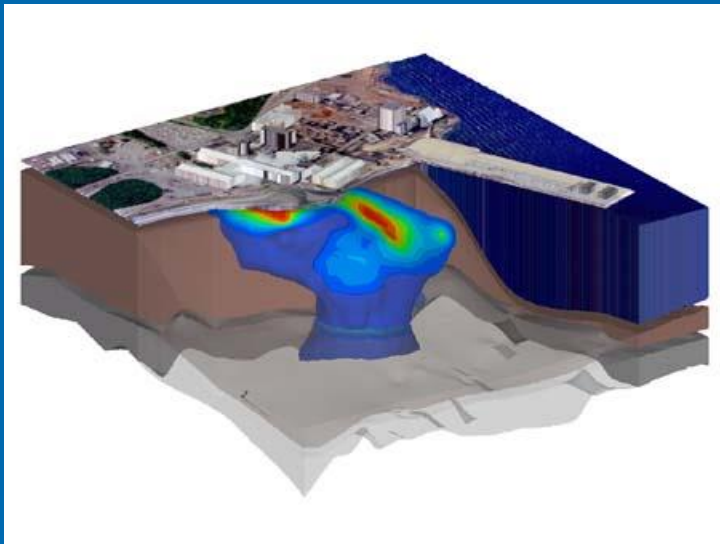
8. Modelos matemáticos de simulación (R. Disponibles y explotables)



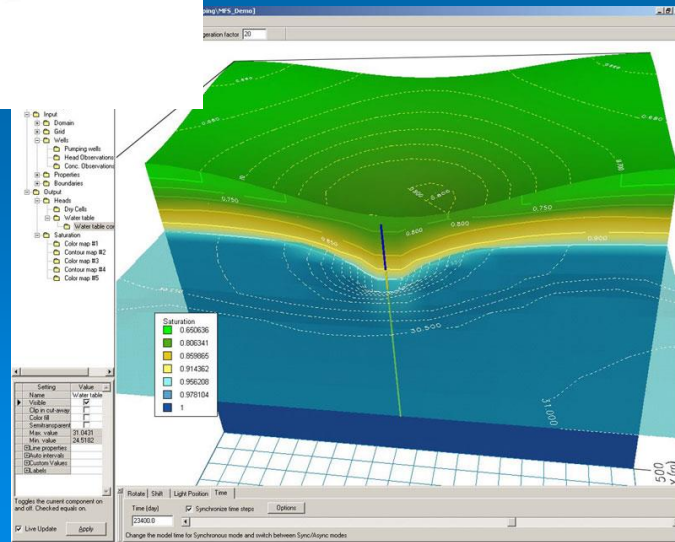
Confección de modelos conceptuales hidrogeológicos con base en las columnas litológicas de pozos

Métodos para calcular los recursos disponibles y de explotación.

8. Modelos matemáticos de simulación (R. Disponibles y explotables)



Resultados de la modelación; distribución de una pluma de contaminación y representación del descenso del nivel del agua subterránea.



Métodos para calcular los recursos disponibles y de explotación.

9. Métodos especiales (R. Disponibles)

- a) Métodos geofísicos (carotage).
- b) Utilización de analogías.

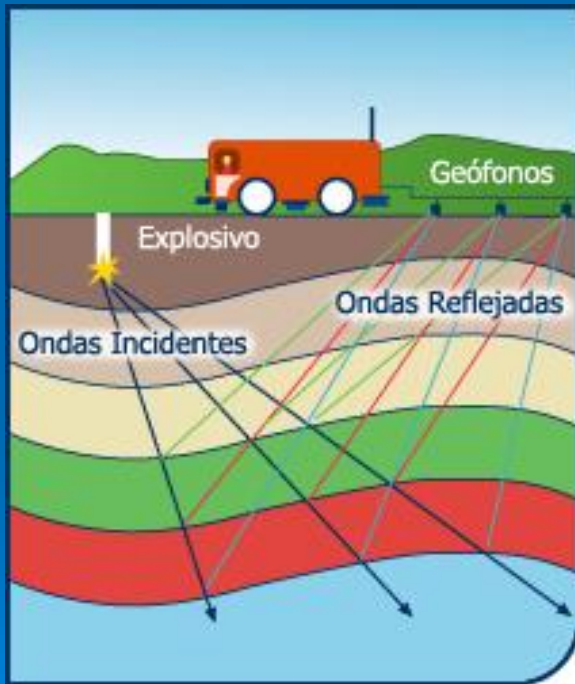
Se puede recurrir a la analogía siempre que se disponga de datos sobre la extensión, espesor y características geológicas del acuífero, de modo que se tengan bases serias para comparar el acuífero no evaluado con aquel cuyo comportamiento se conoce

- c) A base de estimados de la precipitación infiltrada

Métodos para calcular los recursos disponibles y de explotación.

9. Métodos especiales (R. Disponibles)

a) Métodos geofísicos . Refracción Sísmica



Permite la:

Caracterización litológica.

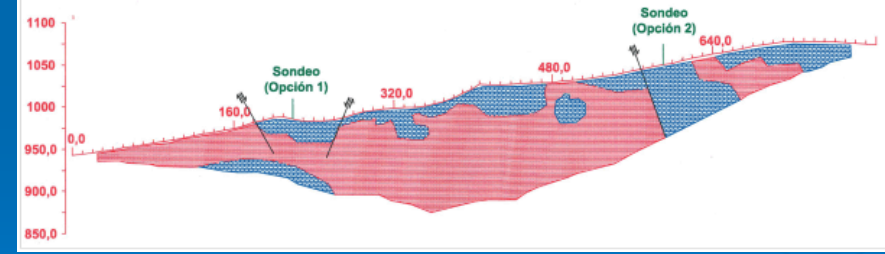
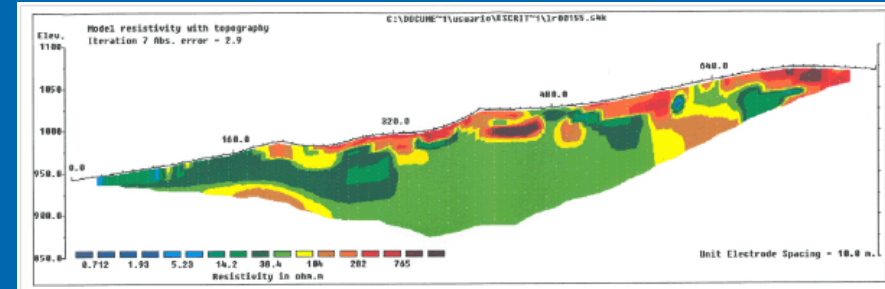
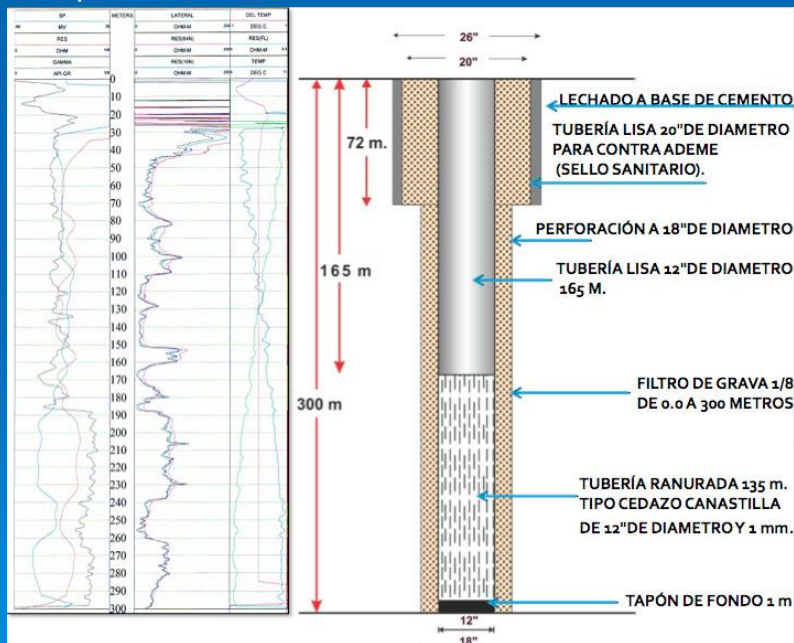
La detección de la profundidad del basamento y su relieve.

Métodos para calcular los recursos disponibles y de explotación.

9. Métodos especiales (R. Disponibles)

a) Métodos geofísicos (carotage).

El sondeo eléctrico vertical, es un método geofísico que es empleado para determinar el valor de la resistividad de las diferentes capas del subsuelo y a través de dichos valores proponer un modelo litológico estructural que satisfaga los valores obtenidos en campo. En la actualidad existen nuevas técnicas utilizadas con los mismos fines pero este método en particular continúa vigente por su sencillez, tanto en la operación como en el procedimiento.



Su profundidad de investigación está en el orden de los 200 a 300 metros

Define horizontes con posibilidades de contener agua subterránea