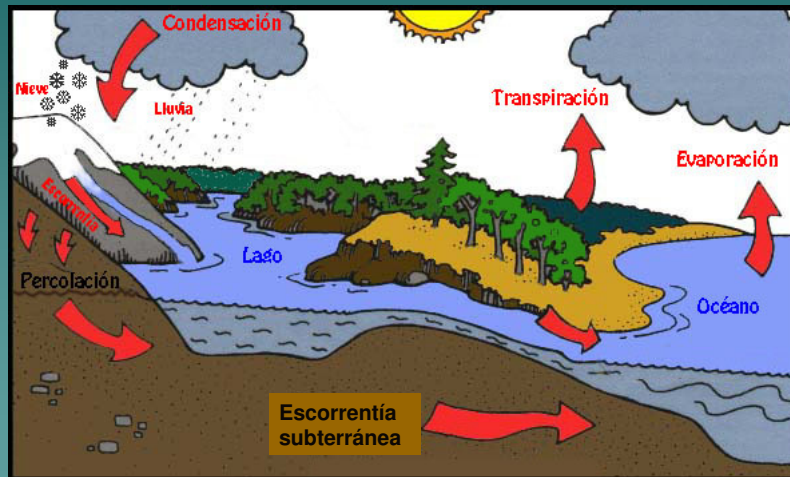


EL CICLO DEL AGUA



Ciclo del agua

- ◆ Componentes
- ◆ Intervención del hombre
- ◆ Ciclo rápido
 - Precipitación-escorrentía superficial-río-mar-evaporación-precipitación
- ◆ Ciclo lento
 - Precipitación-infiltración-circulación por el acuífero-manantial-río-mar-evaporación-precipitación

VENTAJAS DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

- Notable **almacenamiento** asociado, que hace que su cantidad y calidad estén menos afectadas por la variabilidad de la pluviometría, y sean **reservas** de gran valor estratégico en sequías y situaciones de emergencia
- **Regularidad** de su composición química, radioquímica, biológica
- **Mayor protección** temporal frente a procesos contaminantes accidentales
- Frecuente **disponibilidad** en el lugar o cerca de donde se produce la demanda, con inversiones moderadas
- **Menor dependencia** en cuanto a calidad y cantidad de acciones exteriores de carácter catastrófico o provocadas
- **Menor dependencia** de procesos tecnológicos complejos
- **Reconocimiento, evaluación y control** con frecuencia más seguros y sencillos
- Relativa **fácil predicción** del comportamiento ante escenarios diversos de acciones futuras
- **Gestión** más local, sin las restricciones y conflictos de organización e institucionales frecuentes en las grandes entidades

Desventajas de la aguas subterráneas

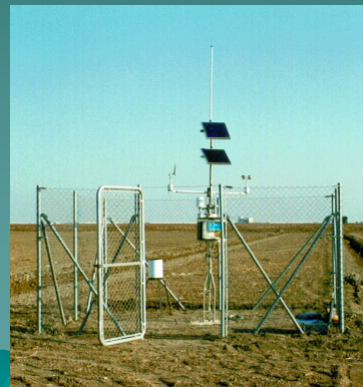
- ◆ Descensos de niveles del agua por fuertes explotaciones
- ◆ Riesgos de salinización en acuíferos costeros
- ◆ Cambios en la calidad y en la salinidad del agua
- ◆ Problemas asociados a la gestión y administración de los recursos, incluyendo aspectos económicos y legislativos, e incluso problemas de carácter social y cultural.

Ciclo del agua

- ◆ Cálculo de entradas y salidas de agua del suelo
 - Cálculo de la precipitación
 - Cálculo de la evaporación
 - Cálculo de la transpiración
 - Cálculo de la evapotranspiración
 - Cálculo de la infiltración
 - Escorrentia superficial

Cálculo de la precipitación

- ◆ Definición
- ◆ Estaciones meteorológicas
 - Pluviómetros (cantidad)
 - Pluviógrafos (intensidad)



Cálculo de la precipitación

- ◆ Puntos a tener en cuenta
 - Validez de los datos
 - Reparto espacial de la lluvia
 - Duración e intensidad de la precipitación
- ◆ Métodos
 - Media aritmética
 - Método de los polígonos de Thiessen
 - Con la curva hipsométrica
 - Método de las curvas isoyetas

Cálculo de la evaporación

- ◆ Definición
- ◆ Factores que controlan la evaporación
 - Radiación solar
 - Temperatura del aire
 - Humedad atmosférica
 - Viento
 - Tamaño de la masa de agua
 - Salinidad

Cálculo de la evaporación

- ◆ Estimación
 - Formulas empíricas
 - Formulas semiteóricas
 - Realización de un balance energético de la masa de agua
 - Ecuación de Penman

Cálculo de la evaporación

- ◆ Estimación
 - Métodos experimentales
 - ◆ Tanques de evaporación



- ◆ Evaporímetros (tipo Piché)



Cálculo de la transpiración

- ◆ Definición
- ◆ Factores
 - Disponibilidad energética (radiación solar)
 - Poder evaporante de la atmósfera
 - Desarrollo y tipo de cubierta vegetal
 - Disponibilidad de agua en el suelo

Cálculo de la evapotranspiración

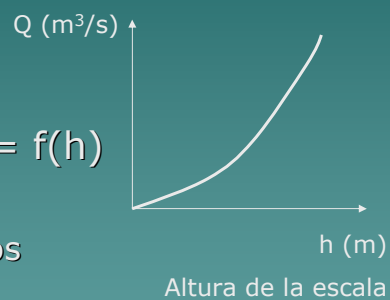
- ◆ Definición
- ◆ Evapotranspiración potencial (ETP)
 - Métodos empíricos
 - ◆ Thornthwaite
 - ◆ Blaney-Criddle
 - ◆ Jense-Haise
 - Métodos experimentales
 - ◆ Lisímetros a carga constante

Cálculo de la evapotranspiración

- ◆ Evapotranspiración real (ETR)
 - Métodos empíricos
 - ◆ Turc
 - ◆ Coutagne
 - Balance del suelo
 - Métodos experimentales

Cálculo de la escorrentía superficial

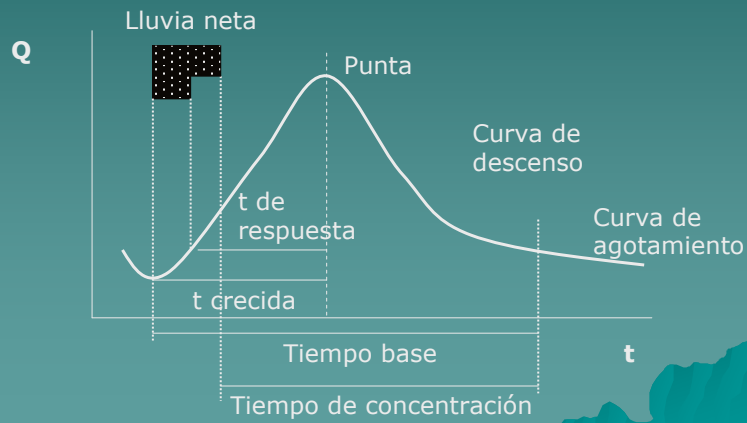
- ◆ Definición
- ◆ Factores
- ◆ Métodos
 - Curva de gastos $Q = f(h)$
 - Medidas
 - ◆ Escalas o limnímetros
 - ◆ Limnógrafos
 - ◆ Aforos directos (molinetes, químicos, flotadores)



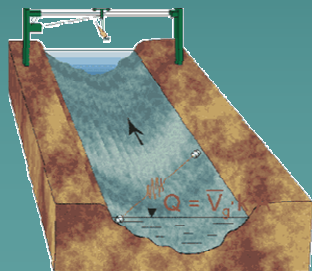
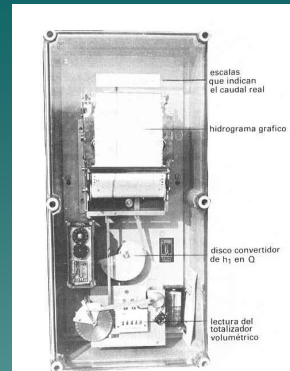
Cálculo de la escorrentía superficial

Hidrogramas

- Relación entre caudales y precipitaciones



Estación de aforo



Molinetes



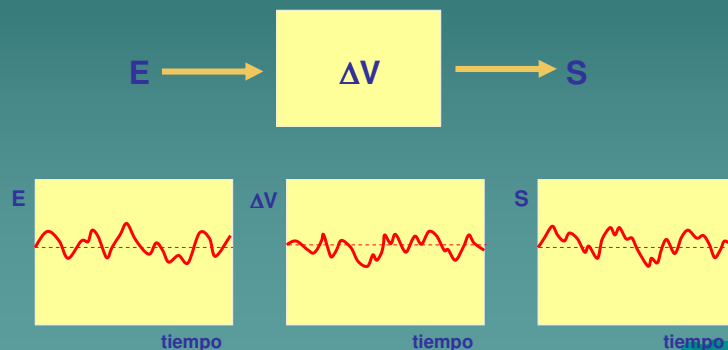
Cálculo de la infiltración

- ◆ Definición
- ◆ Factores
 - Tipo de cubierta vegetal
 - Características hidráulicas del suelo
 - Estado de humedad del suelo
 - Intensidad de la lluvia o cantidad de agua de riego
 - Calidad del agua
 - Formación de costras superficiales
 - Trabajos agrícolas
- ◆ Métodos
 - Integración numérica de la ecuación de Richards
 - Fórmulas empíricas
 - ◆ Ecuación de Horton

BALANCE HIDRICO

Aplicación del principio de conservación de masas

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



BALANCE HIDRICO

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 (sobreexplotación, embalses)
- 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

BALANCE HIDRICO

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 l / seg / km^2 caudal específico

BALANCE HIDRICO

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

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

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	Bombes (extracciones de aguas subterráneas)
ΔV	Variación del volumen de agua almacenada
ϵ	Error de cierre del balance

BALANCE HIDRICO

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

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

Ley de Darcy (T, i, l)

Aforos en ríos y manantiales

Tratamiento de datos

Inventario

Geometría del acuífero, piezometría, S

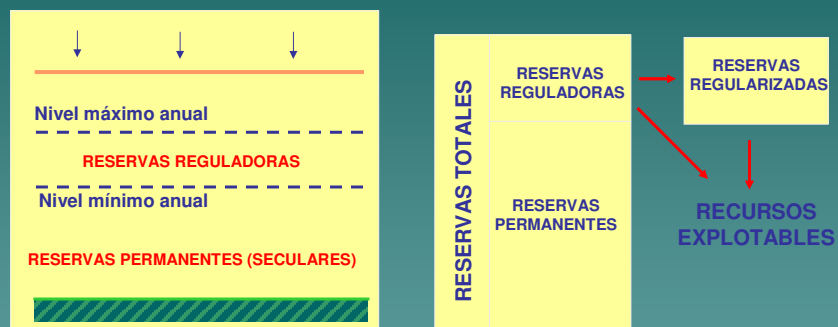
Validez de los balances

- Establece órdenes de magnitud
- Expresar incertidumbres (máximos y mínimos)
- Distintos métodos de aproximación
- Permiten establecer relaciones empíricas, p.e.

RESERVAS Y RECURSOS DE AGUA SUBTERRÁNEA

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