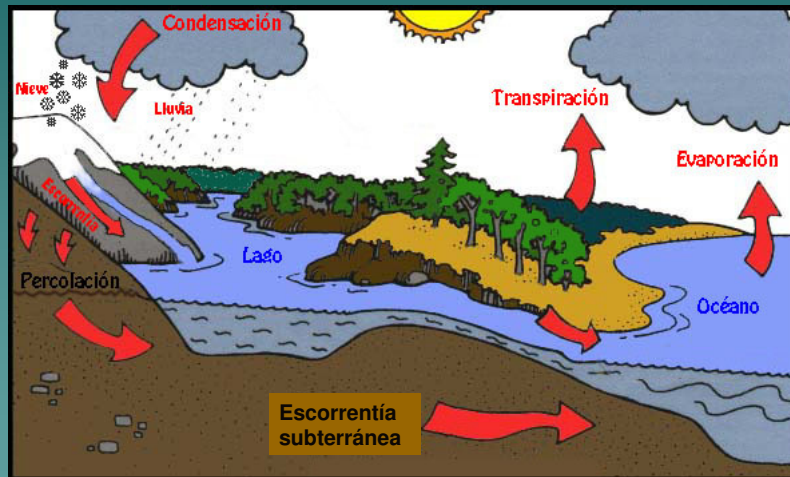


## EL CICLO DEL AGUA



## 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

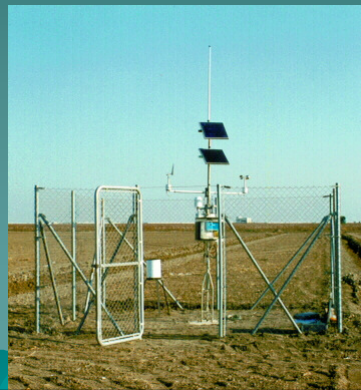
- ◆ Descensos de niveles del agua por fuertes explotaciones
- ◆ Riesgos de salinización en acuíferos costeros
- ◆ Cambios en la calidad y en la salinidad del agua
- ◆ Problemas asociados a la gestión y administración de los recursos, incluyendo aspectos económicos y legislativos, e incluso problemas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

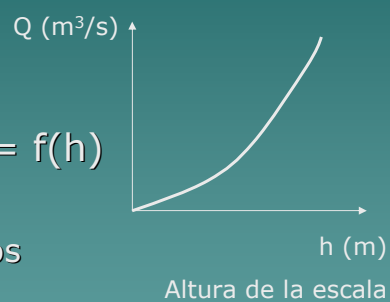
- ◆ Definición
- ◆ Evapotranspiración potencial (ETP)
  - Métodos empíricos
    - ◆ Thornthwaite
    - ◆ Blaney-Criddle
    - ◆ Jense-Haise
  - Métodos experimentales
    - ◆ Lisímetros a carga constante

## Cálculo de la evapotranspiración

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

## Cálculo de la escorrentía superficial

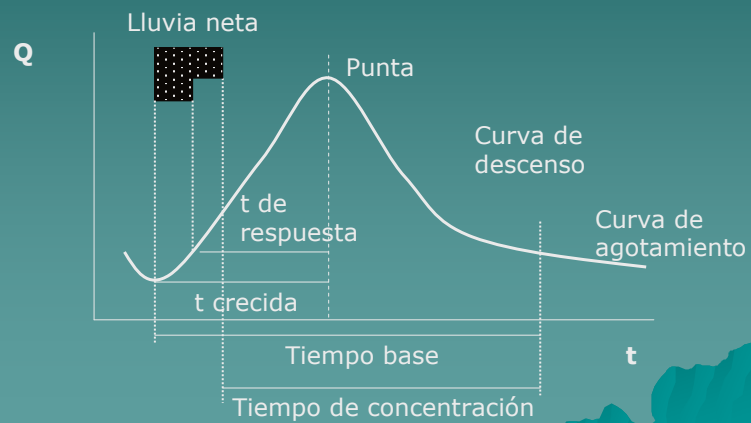
- ◆ Definición
- ◆ Factores
- ◆ Métodos
  - Curva de gastos  $Q = f(h)$
  - Medidas
    - ◆ Escalas o limnímetros
    - ◆ Limnígrafos
    - ◆ Aforos directos (molinetes, químicos, flotadores)



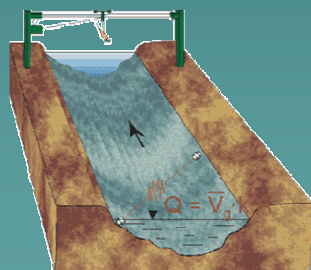
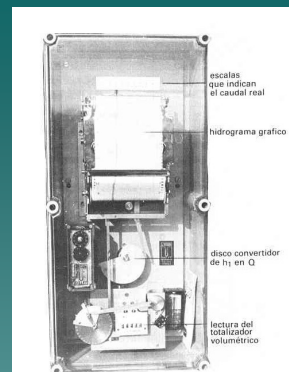
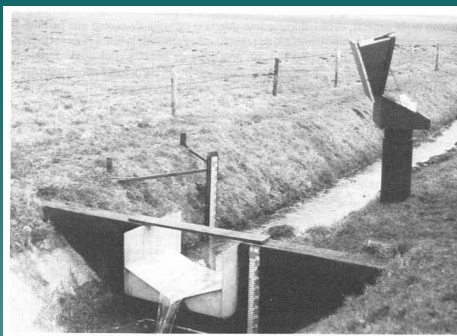
# Cálculo de la escorrentía superficial

## Hidrogramas

– Relación entre caudales y precipitaciones



## Estación de aforo



## Molinetes



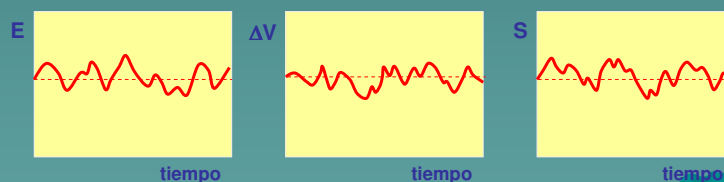
# Cálculo de la infiltración

- ◆ 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 /  $\text{km}^2$  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          | Bombeos (extracciones de aguas subterráneas)                      |
| $\Delta V$ | Variación del volumen de agua almacenada                          |
| $\epsilon$ | 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

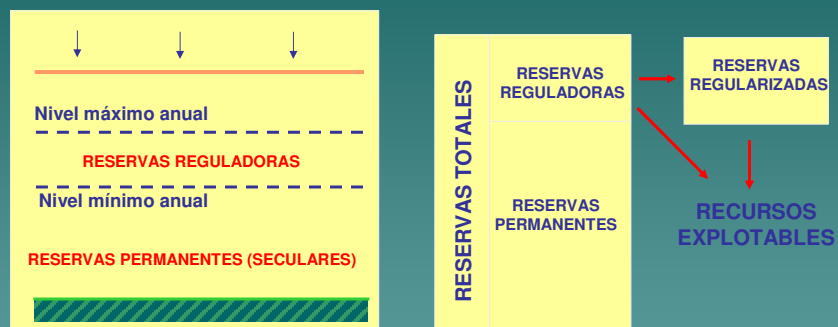
## Validez de los balances

- 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                              |
| <b>Acuíferos</b> | <b>Días – decenas de miles de años</b> |