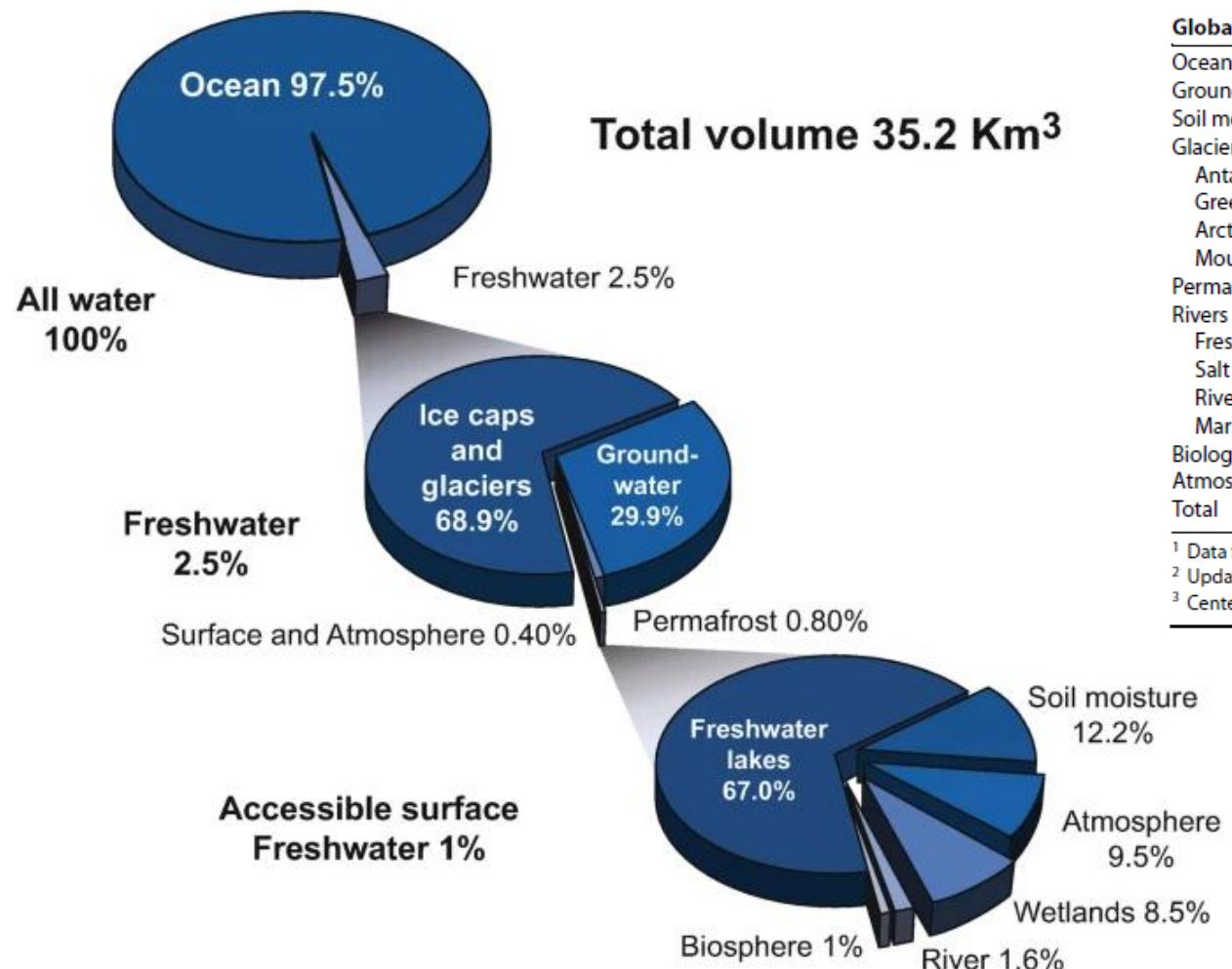




Distribución del agua en la naturaleza



Distribution of the world's water. (Modified after Salih [1997](#); Dai [2012](#))

Table 2.5 M

Global Stock

Oceans
Ground water
Soil moisture
Glaciers and permafrost
Antarctica
Greenland
Arctic islands
Mountains
Permafrost
Rivers and lakes
Fresh lakes
Salt lakes
Rivers
Marshes
Biologic water
Atmosphere
Total

¹ Data from Shikloman et al., 2005.

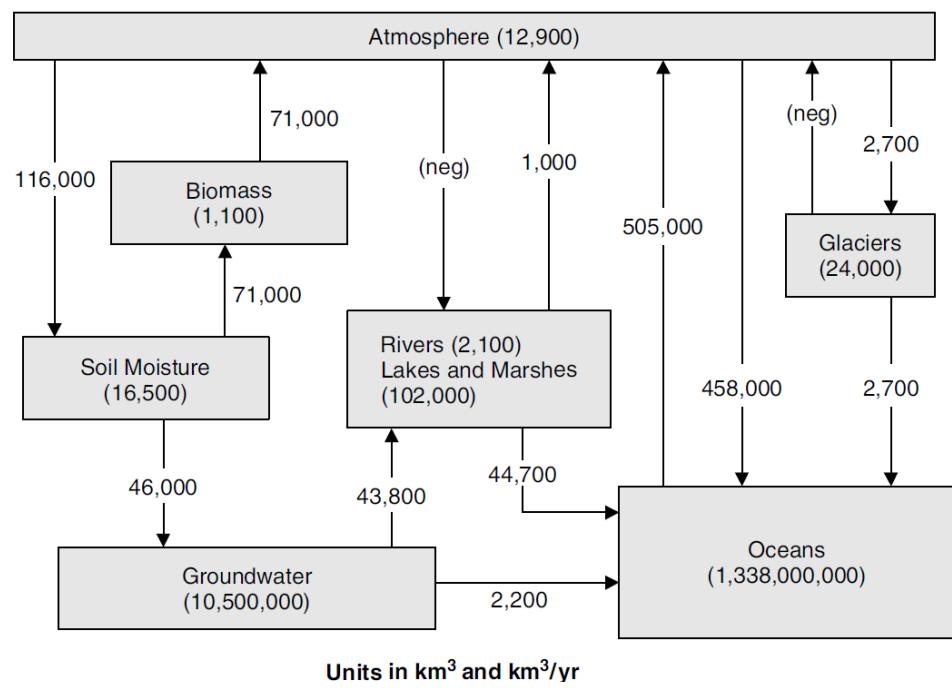
² Updated values.

³ Center of range.



water:
 $m^3 \times 10^6$

(v, 1997)



Reservoir	Volume ($\times 10^6 \text{ km}^3$)	Percentage of total
Oceans	1370	97.25
Ice caps and glaciers	29	2.05
Deep groundwater (750–4000 m)	5.3	0.38
Shallow groundwater (<750 m)	4.2	0.30
Lakes	0.125	0.01
Soil moisture	0.065	0.005
Atmosphere ¹	0.013	0.001
Rivers	0.0017	0.0001
Biosphere	0.0006	0.00004
Total	1408.7	100

Pinder, G. F., & Celia, M. A. (2006). Subsurface hydrology. John Wiley & Sons.

Tiempo de residencia promedio de las moléculas de agua

Biosférico (en los seres vivos) 1 semana

Atmosférico 1.5 semanas

Ríos 2 semanas

Humedad del suelo 2 semanas - 1 año

Pantanos 1 - 10 años

Lagos y depósitos 10 años

Océanos y mares 4,000 años

Agua subterránea 2 semanas - 10,000 años

Glaciares y permafrost 1,000 - 10,000 años



Volumes of water stored in the various components of the water cycle

Gleeson et al., 2015

Surface waters: 0.10 M km^3
 Modern gw (<50yr): 0.35 M km^3
 Older gw: 22.20 M km^3

1/60 is modern gw

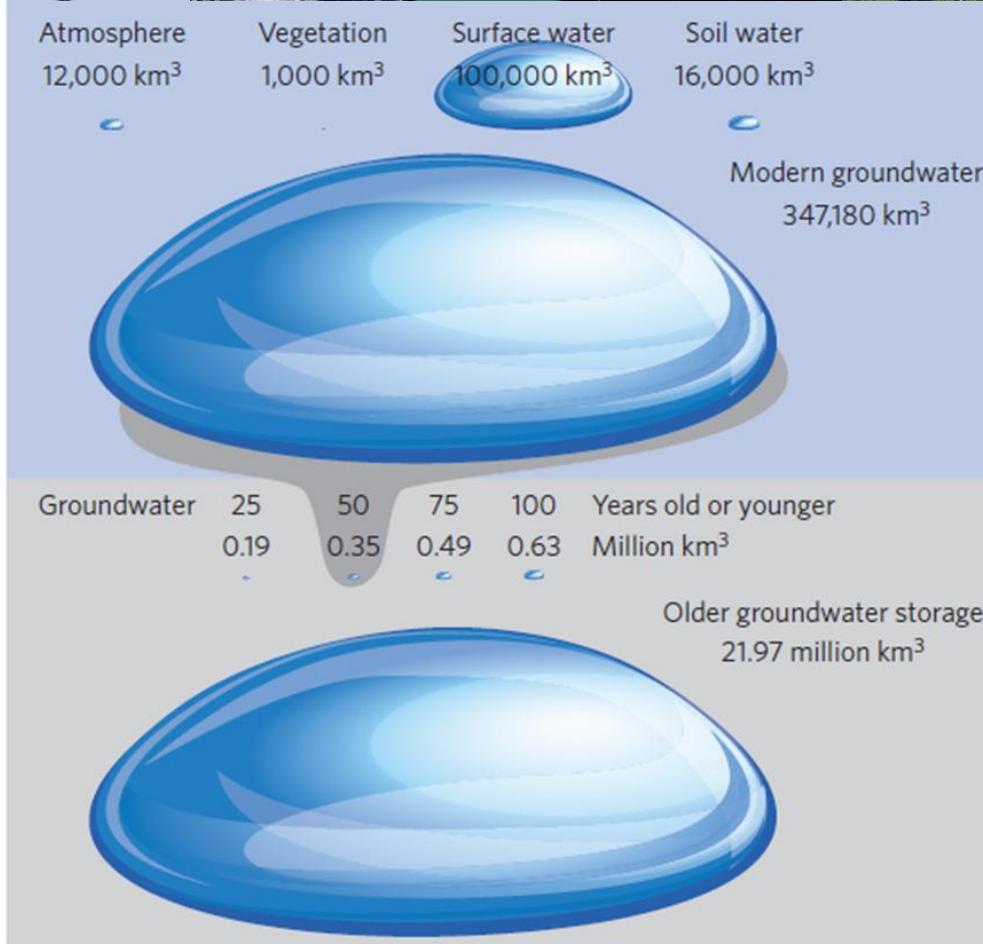
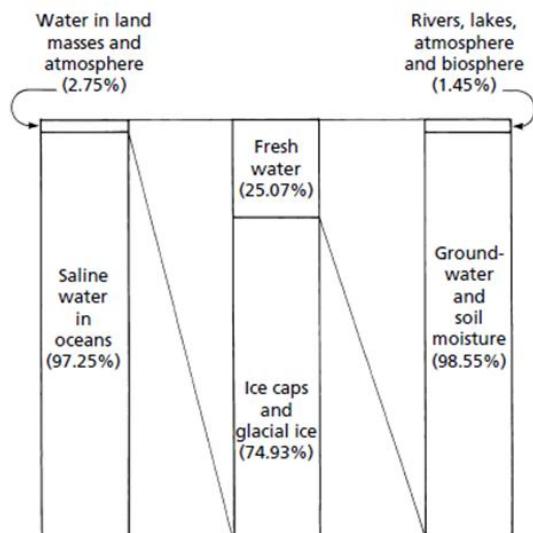


Figure 5 | The different volumes of water stored in the global water cycle.
 Global volumes of young (<100 years old), modern (<50 years old) and total groundwater to 2 km depth compared with other fresh water volumes stored in the atmosphere³³, in surface waters (that is, wetlands, rivers and lakes)³³, within plants or in soils³³.



¿Qué es el balance hídrico?

El concepto de balance hídrico se deriva del concepto de balance de materia, es decir, que es el equilibrio entre todos los recursos hídricos que ingresan al sistema y los que salen del mismo, en un intervalo de tiempo determinado.

$$I(t) - Q(t) = 0$$

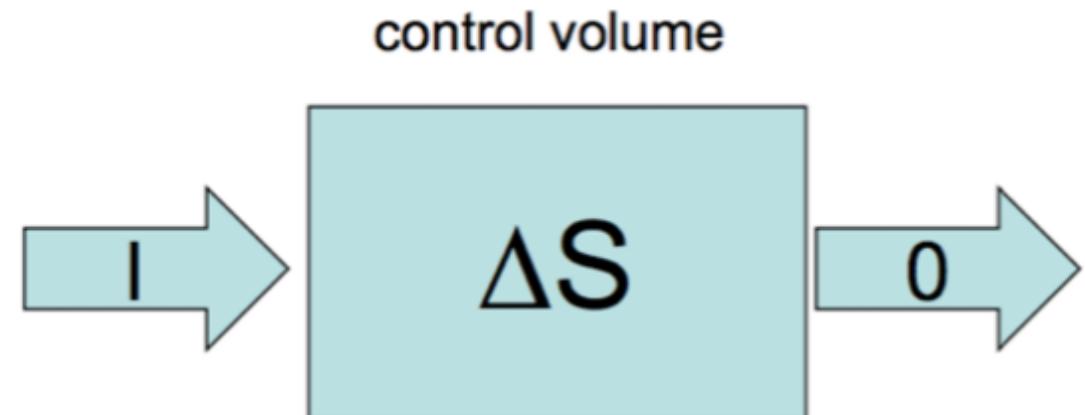
$$I(t) - Q(t) = \frac{dS}{dt}$$

Donde:

$I(t)$: Entradas al sistema (PCP, SNOW)

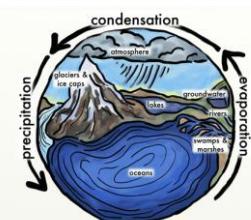
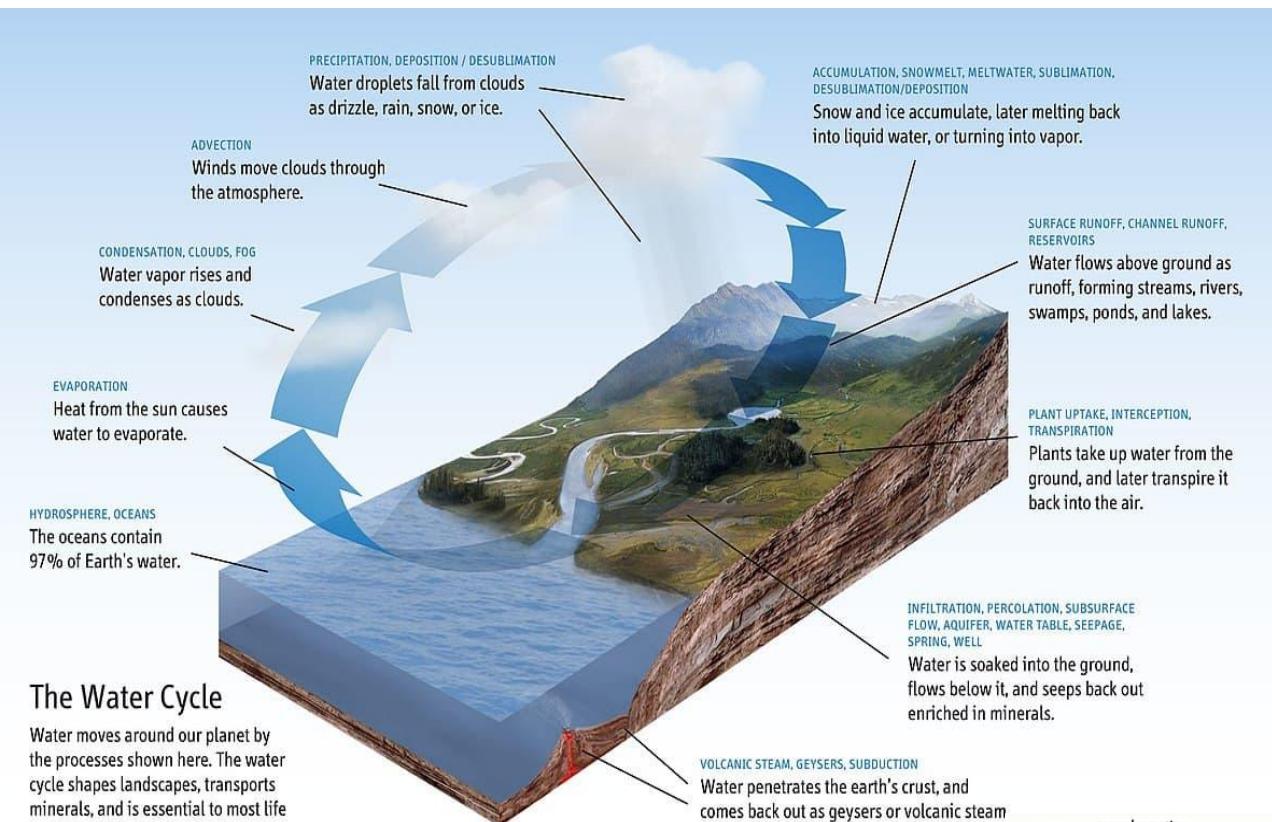
$Q(t)$: Salidas del Sistema (ET, SURQ, LATQ, BSFLOW)

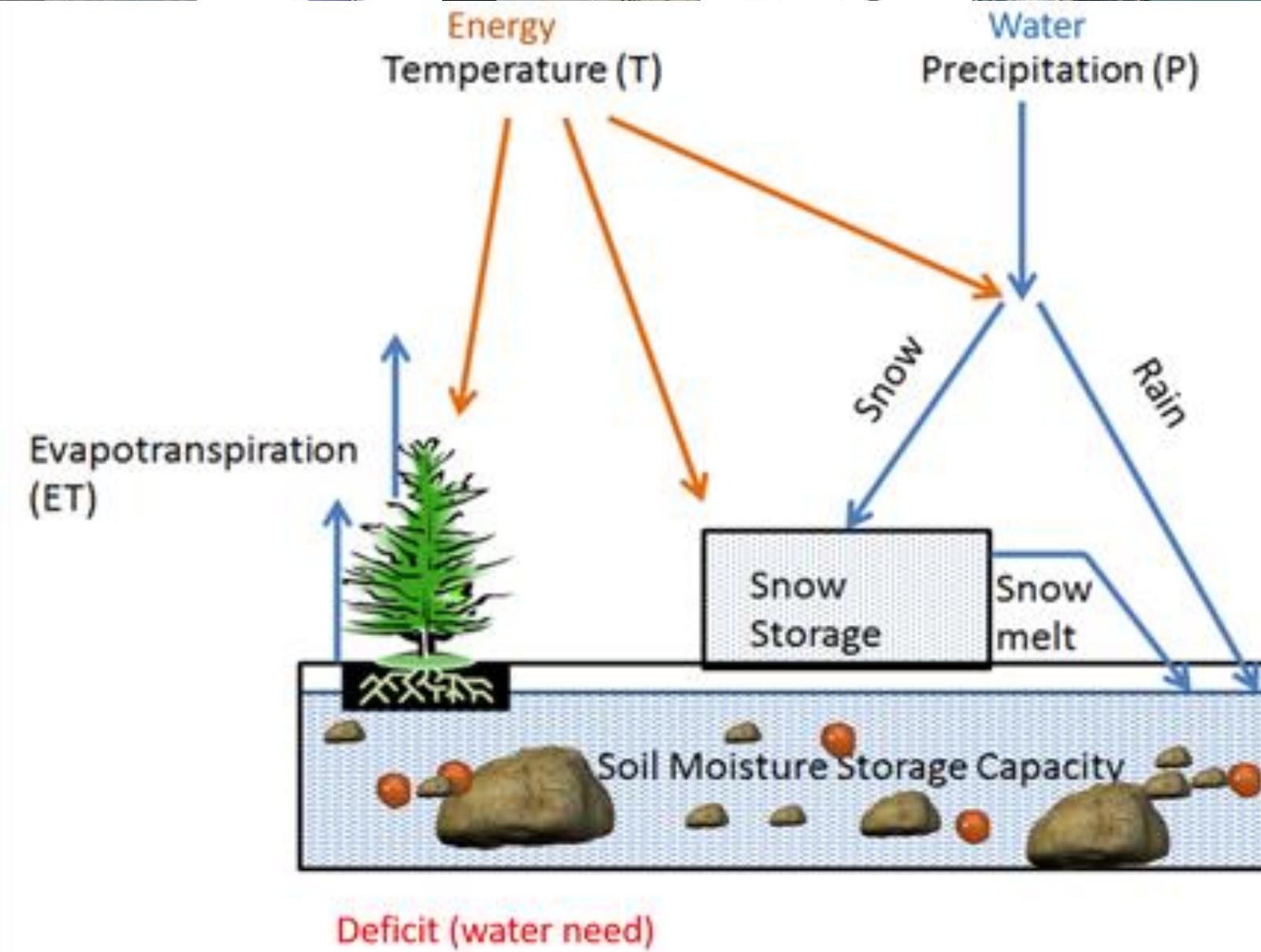
$\frac{dS}{dt}$: Variación del almacenamiento (HMD, GWH)



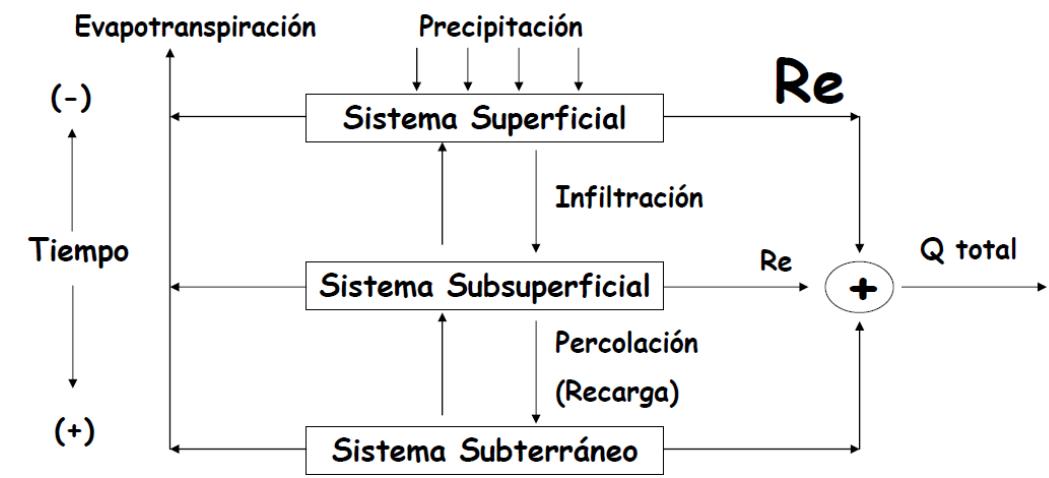
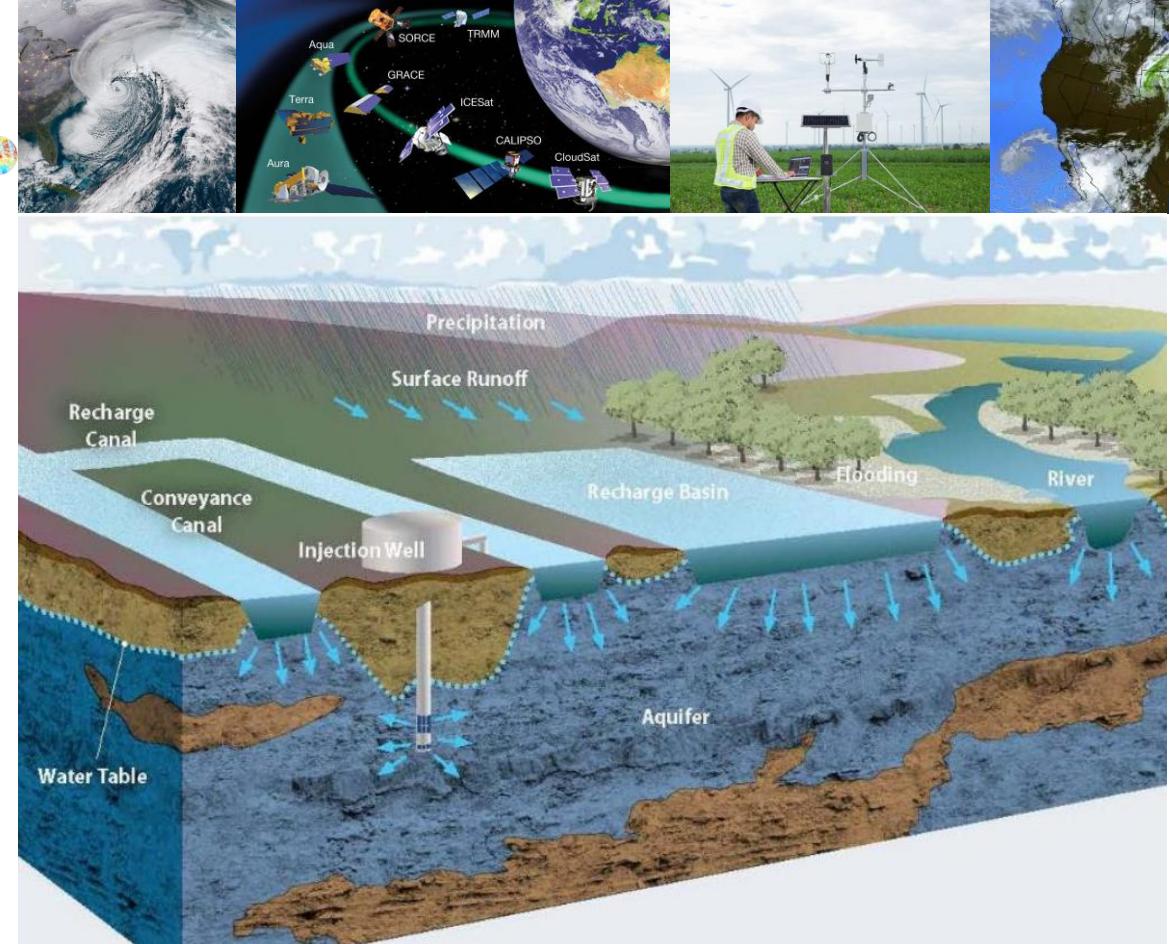
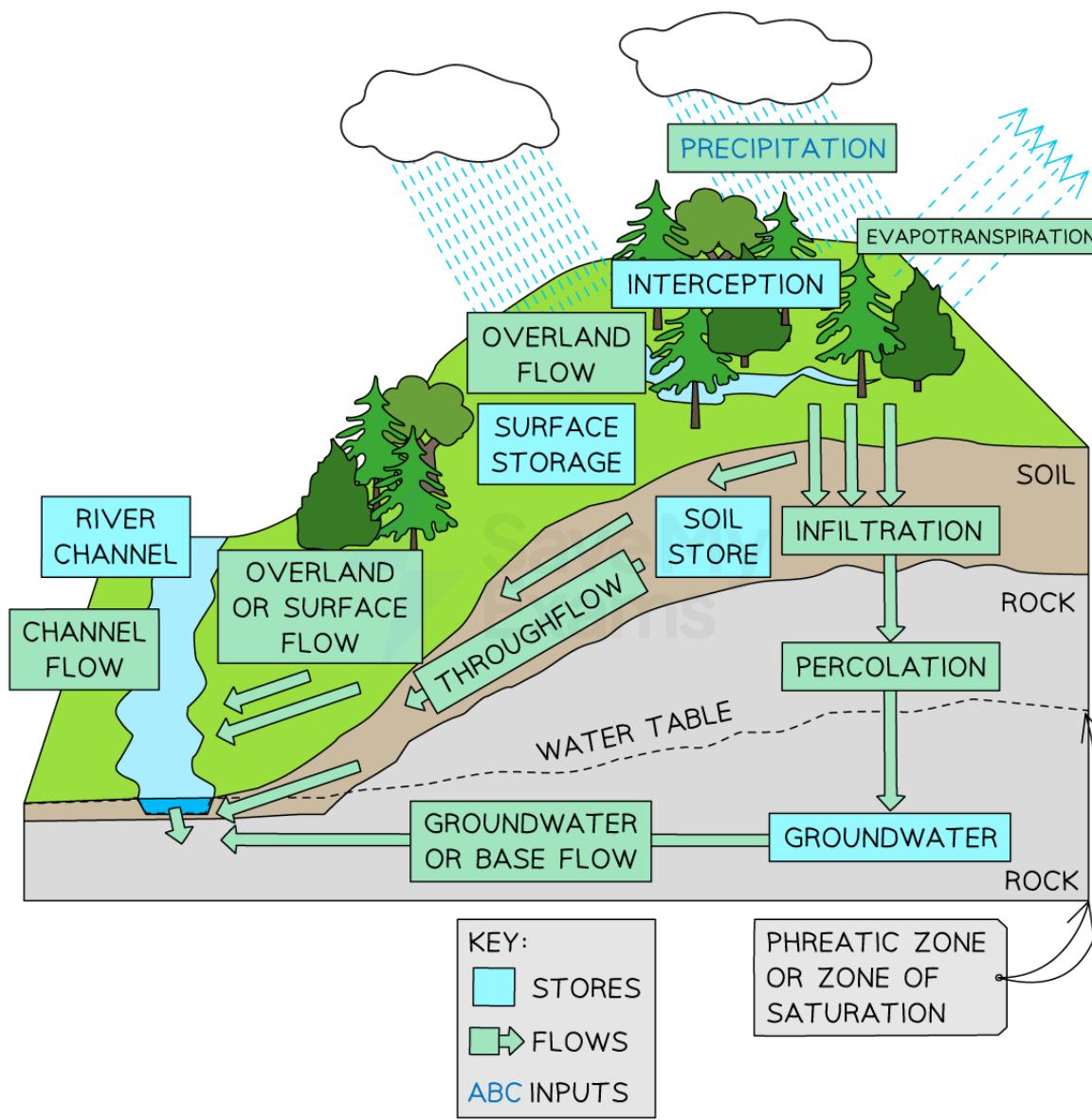


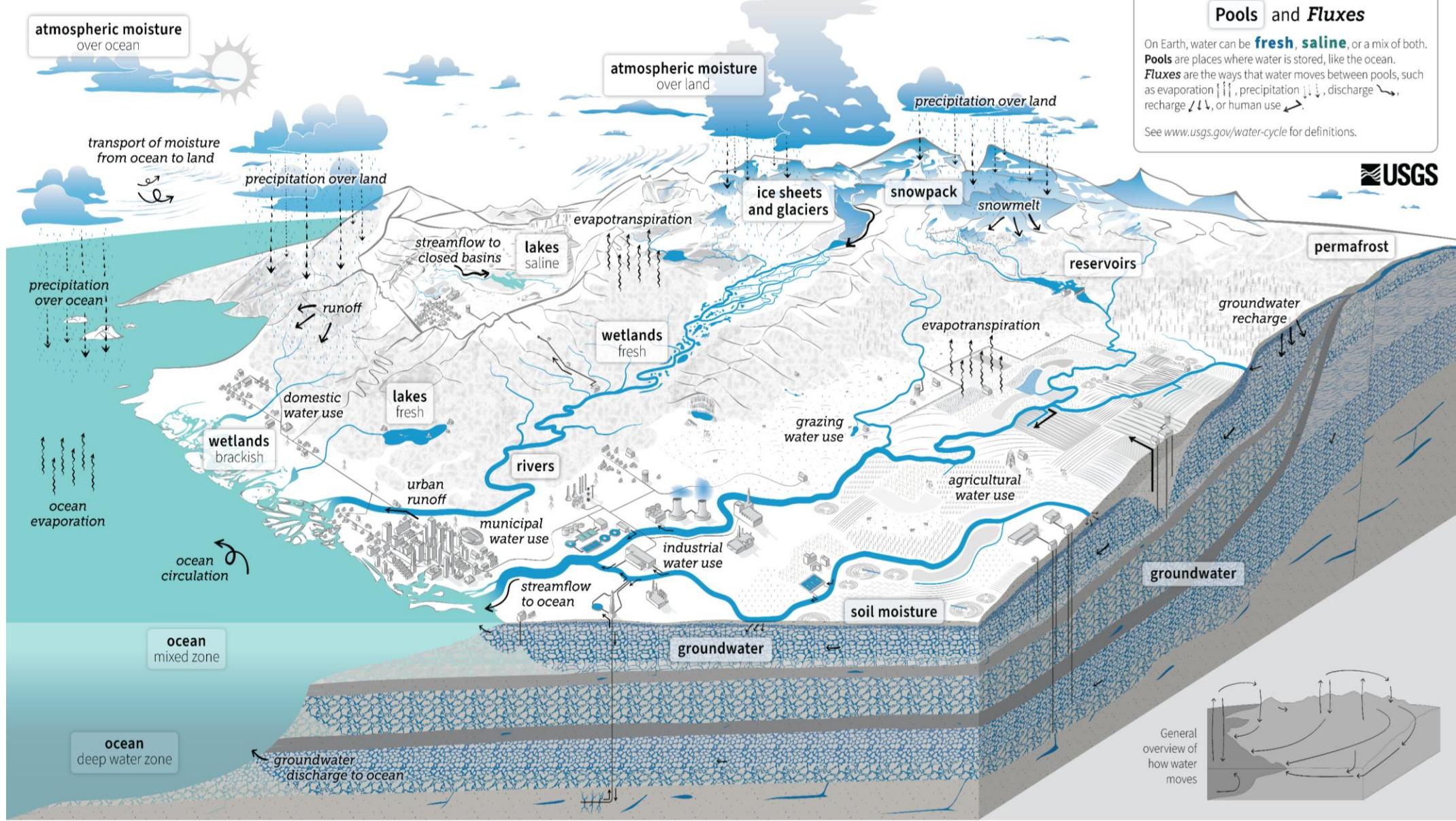
Movimiento del agua en la naturaleza

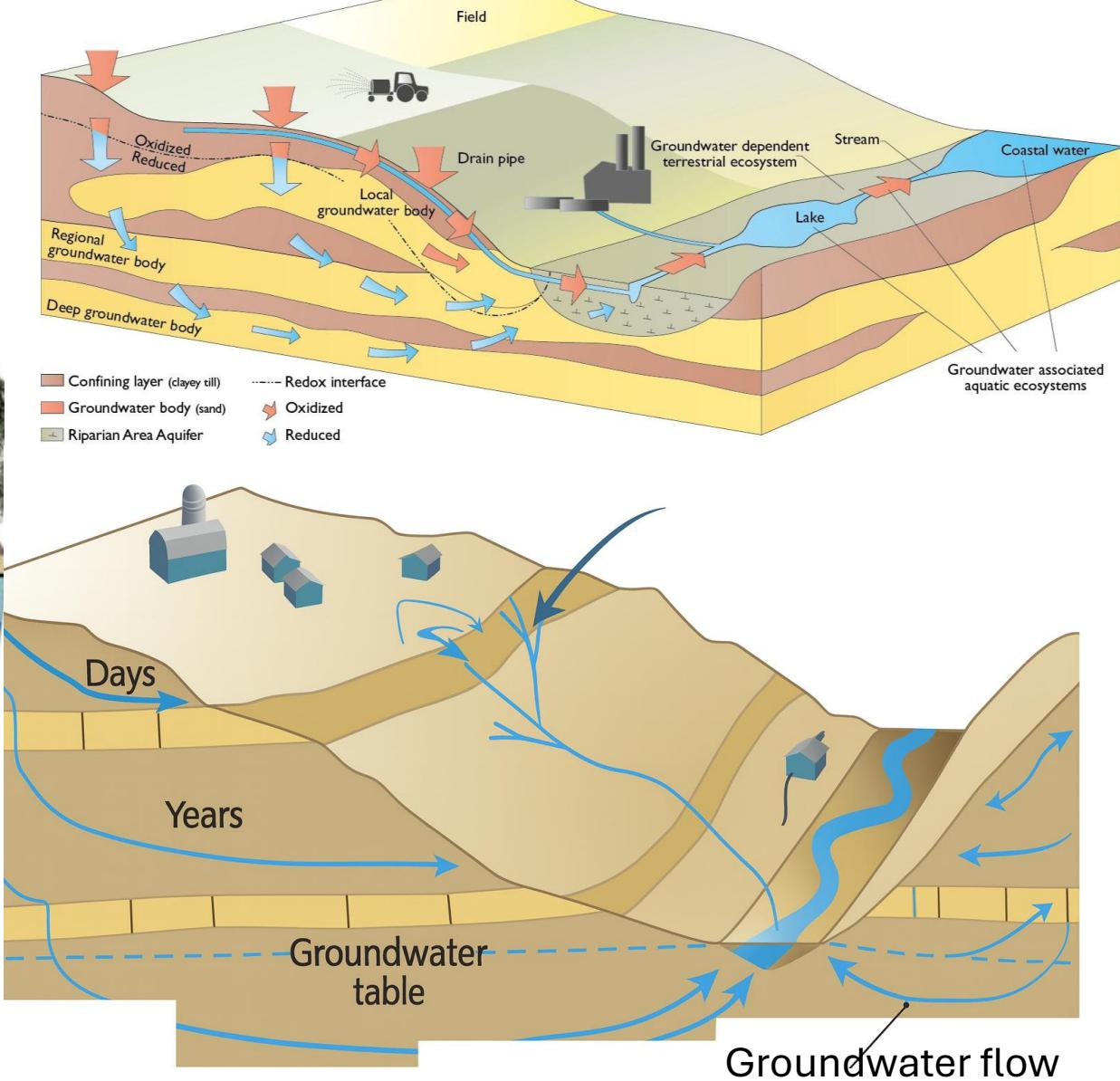
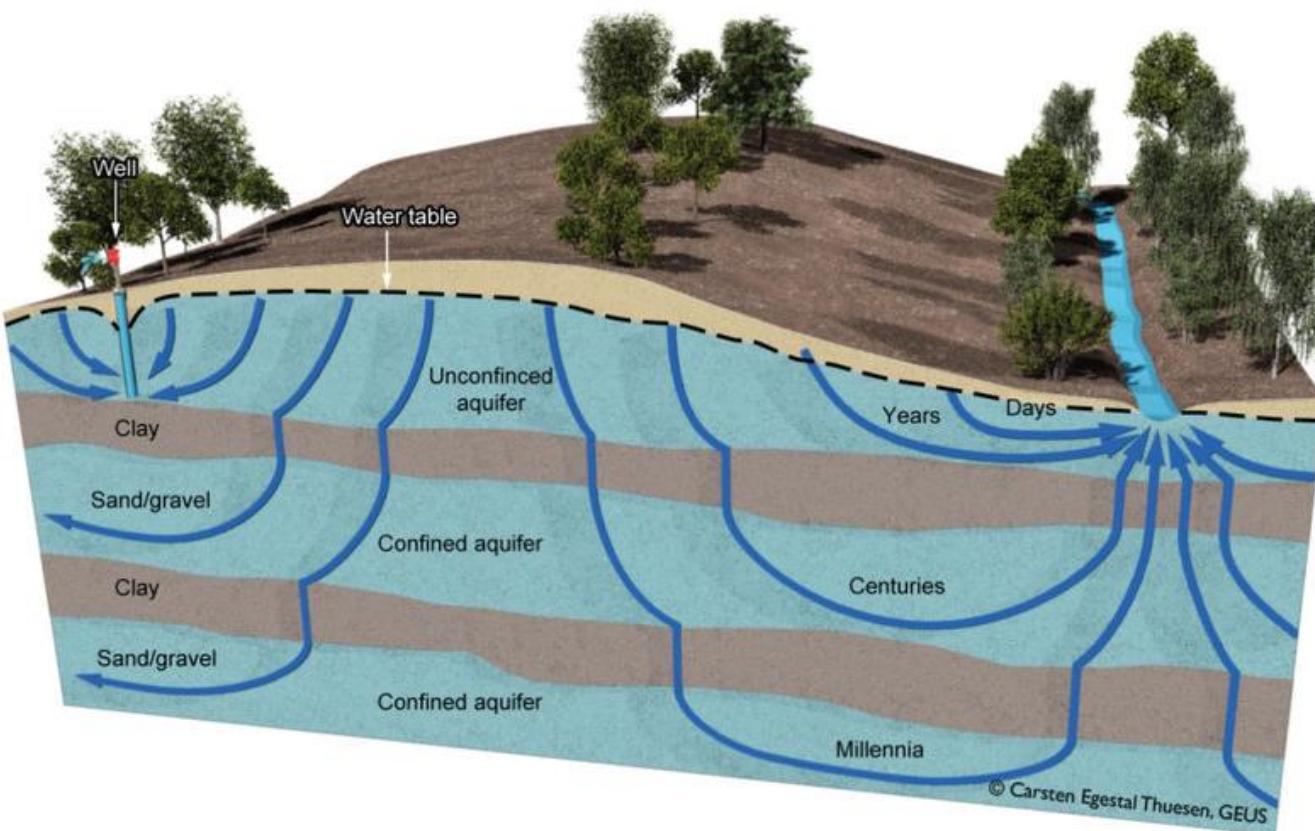




El calor sensible provoca un cambio de temperatura en una sustancia, mientras que **el calor latente** causa un cambio de estado (fase) de la sustancia, pero sin alterar su temperatura









CICLO HIDROLÓGICO EN ESTADO NATURAL

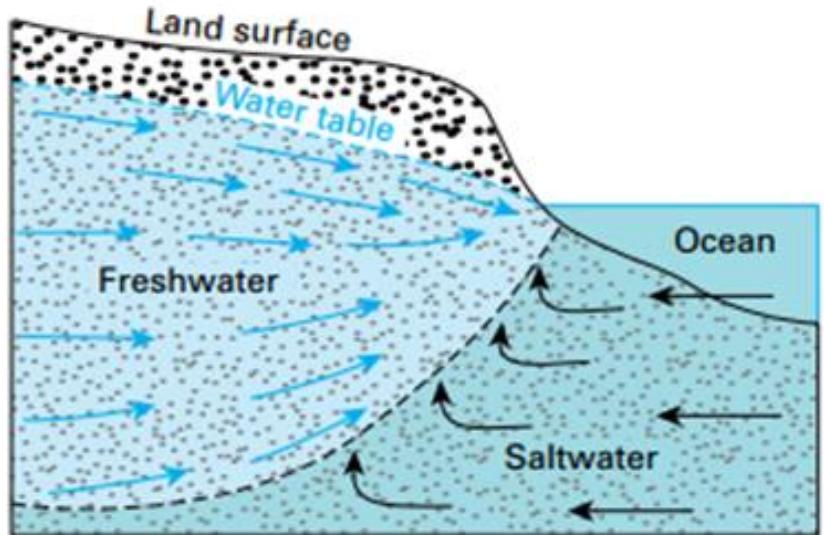


CICLO HIDROLÓGICO AFECTADO POR EL HOMBRE

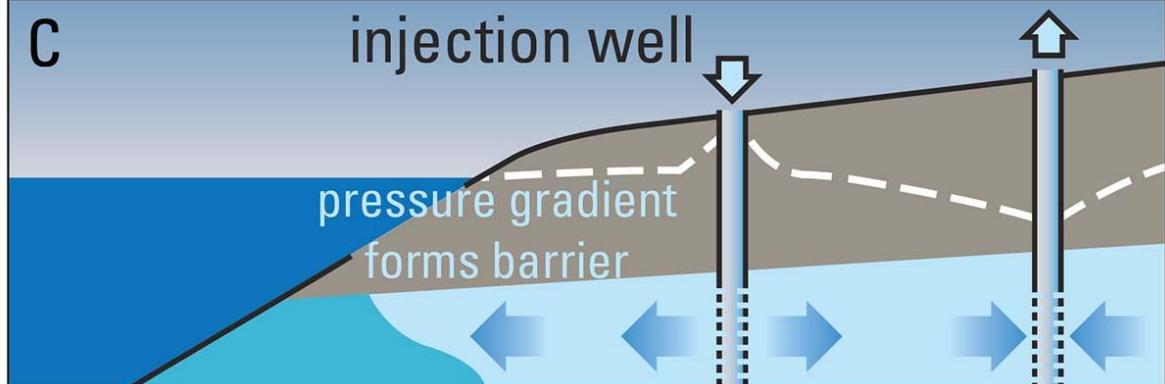
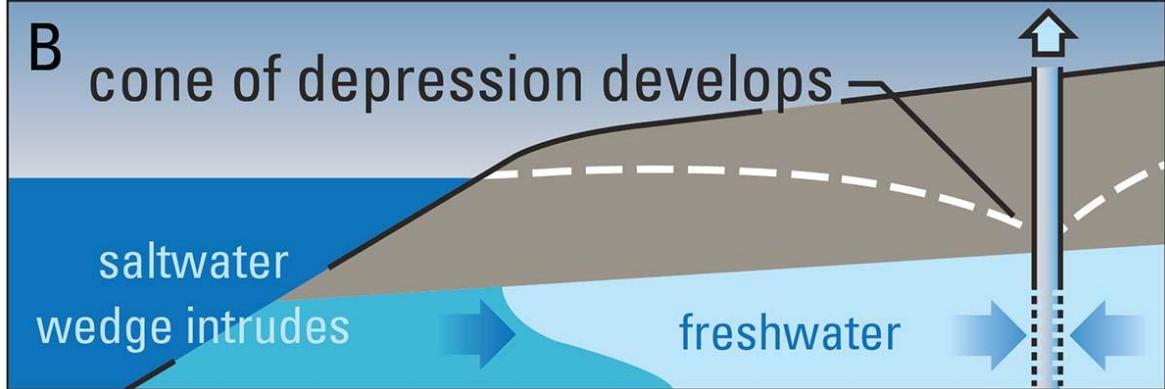
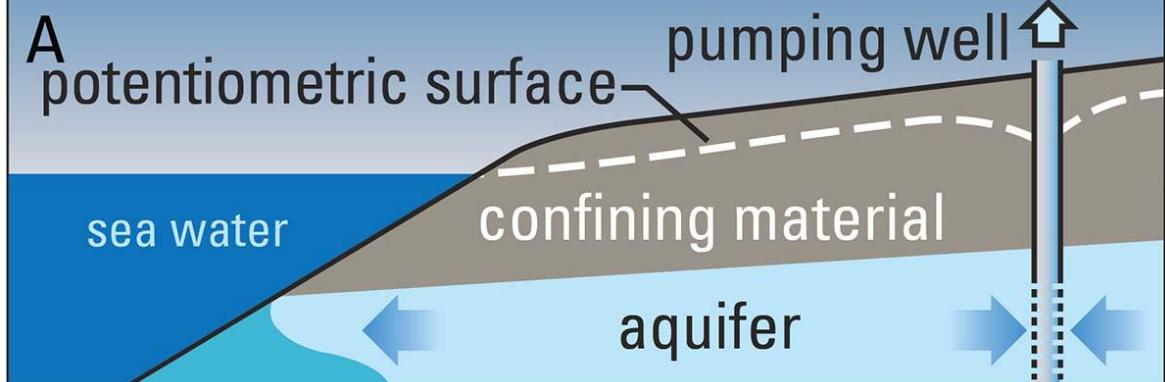
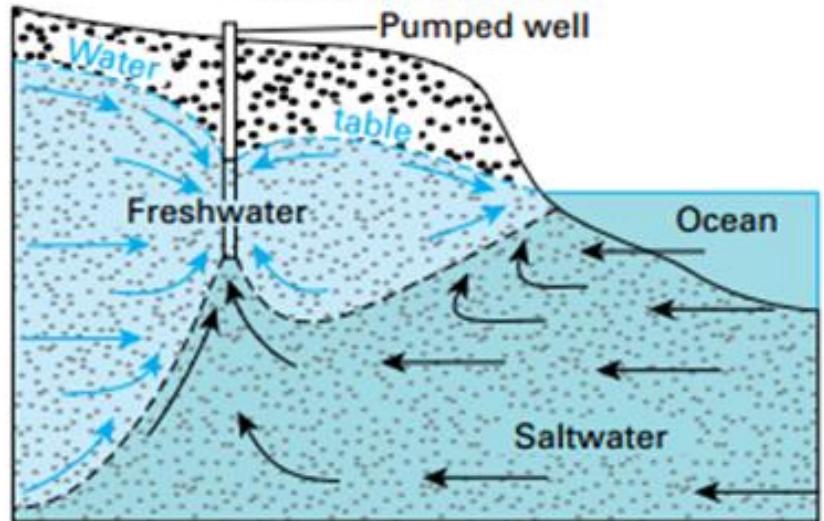




Natural Conditions

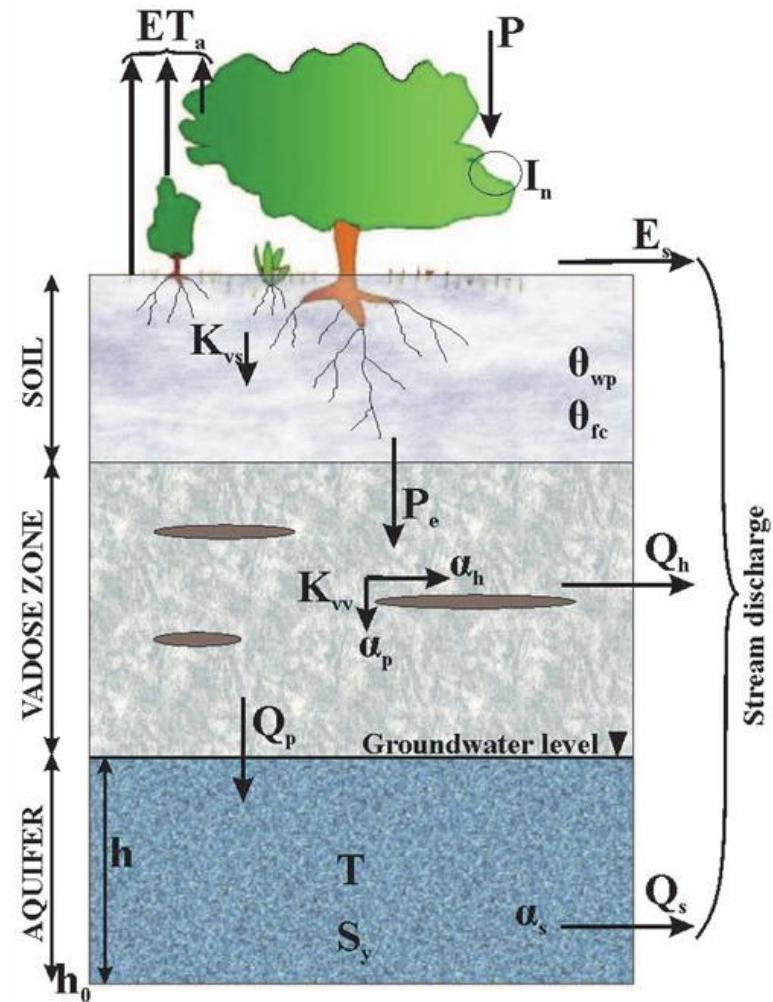


Salt-Water Intrusion

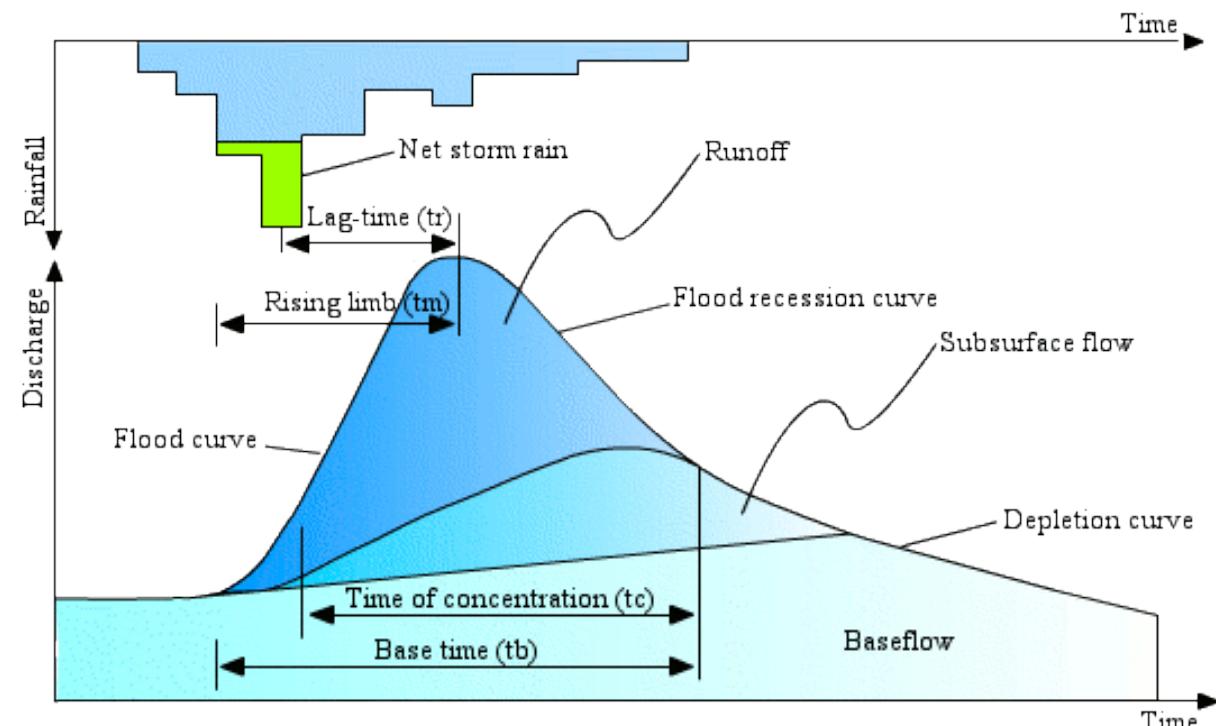




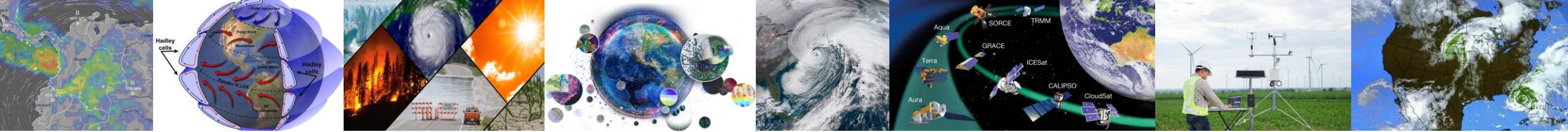
Procesos fundamentales del Balance Hídrico



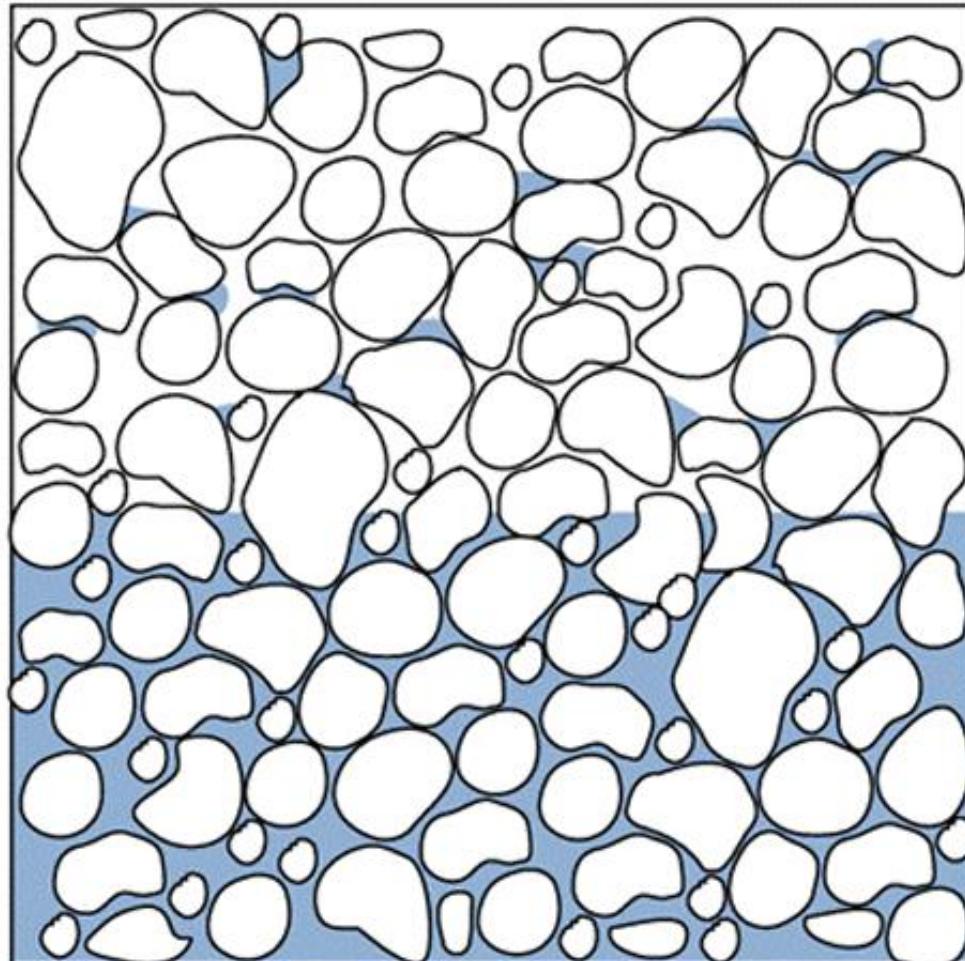
ET_a: Actual evapotranspiration
P: Precipitation
I_n: Canopy interception
E_s: Surface runoff
K_{vs}: Soil vertical hydraulic conductivity
θ_{wp}: Soil water content at wilting point
θ_{fc}: Soil water content at field capacity
P_e: Diffuse potential recharge to the vadose zone
K_{vv}: Vertical hydraulic conductivity in the vadose zone
α_h: Inteflow recession coefficient
α_p: Percolation recession coefficient
Q_h: Interflow
Q_p: Percolation to the aquifer
h: Groundwater level
h₀: Base value of groundwater level
T: Transmissivity
S_y: Aquifer storage coefficient
α_s: Groundwater discharge recession coefficient
Q_s: Groundwater discharge



- 1. Infiltración o Percolación**
- 2. Escurrimiento superficial y subsuperficial**
- 3. Evapotranspiración**
- 4. Recarga del acuífero**
- 5. Flujo de aguas subterráneas**
- 6. Descarga de aguas subterráneas**
- 7. Interacciones con cuerpos de agua superficiales**



SURFACE



BEDROCK

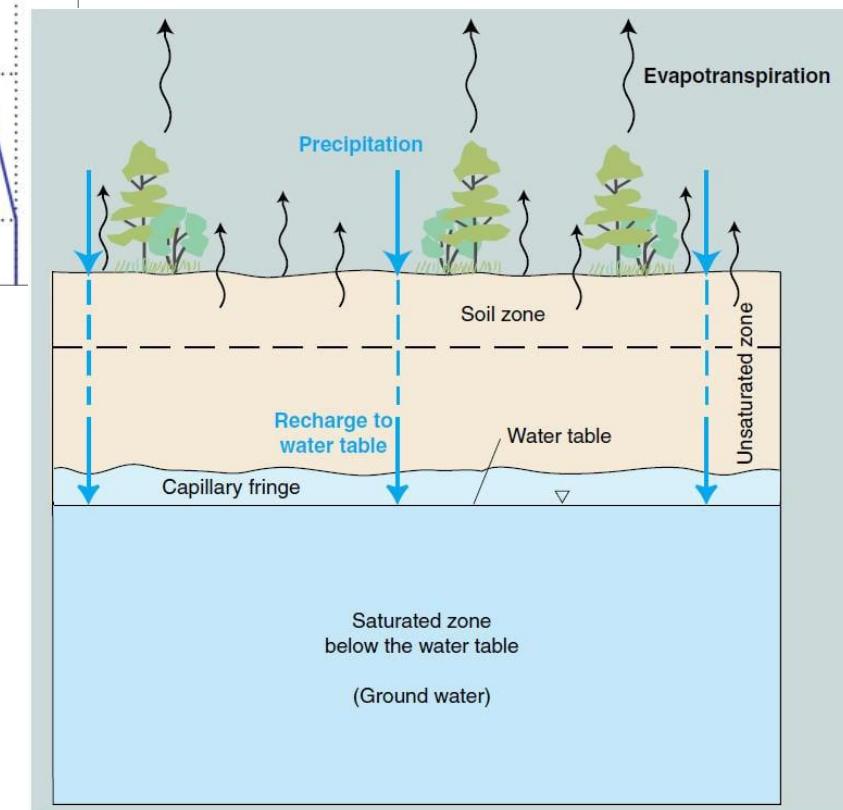
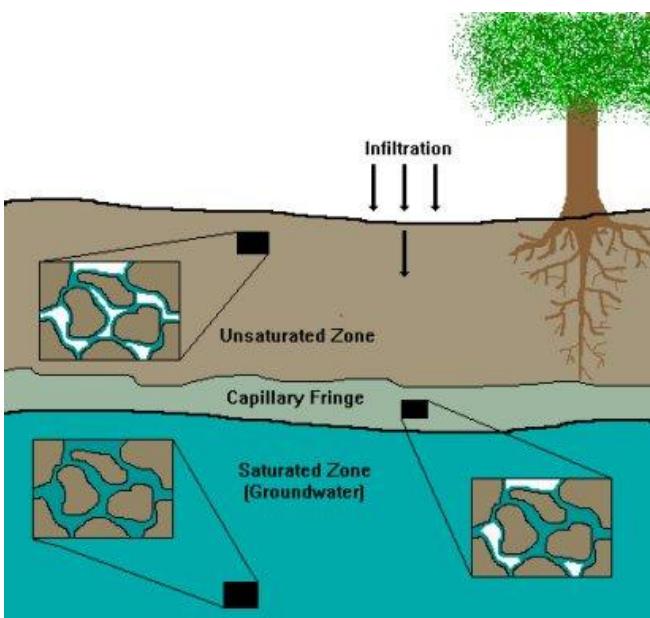
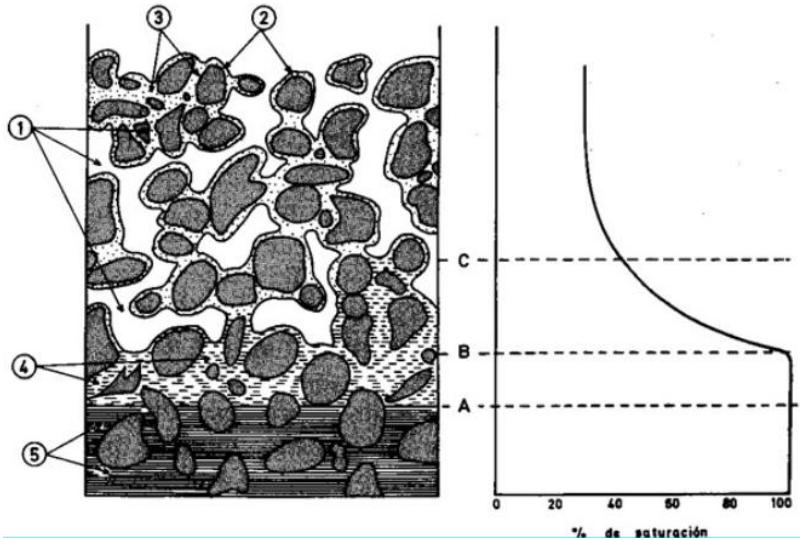
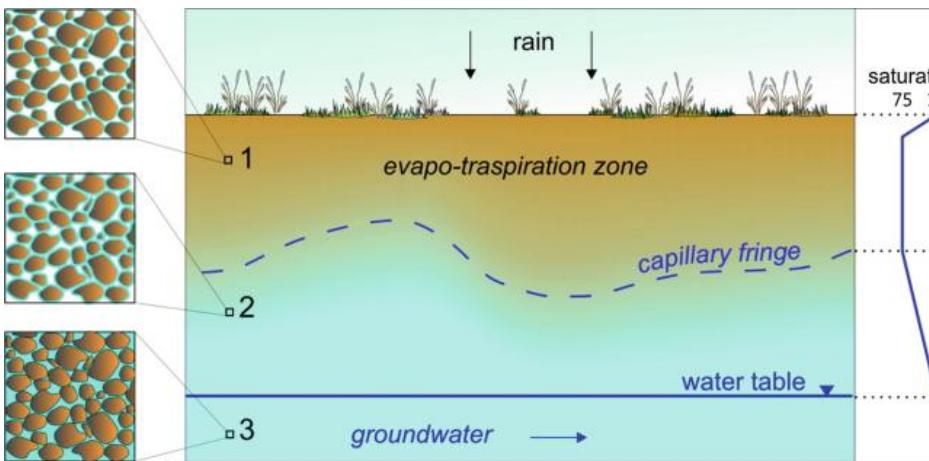
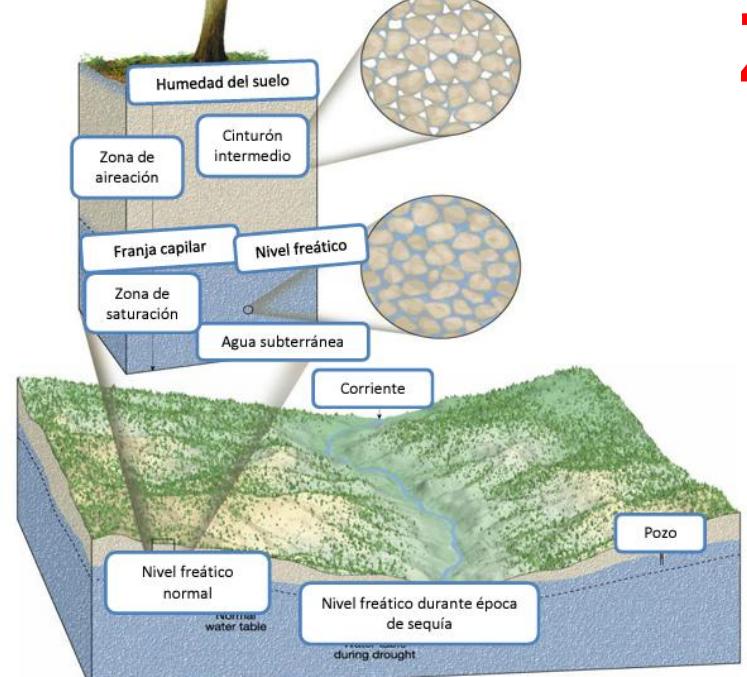
Medio poroso y distribución de fases

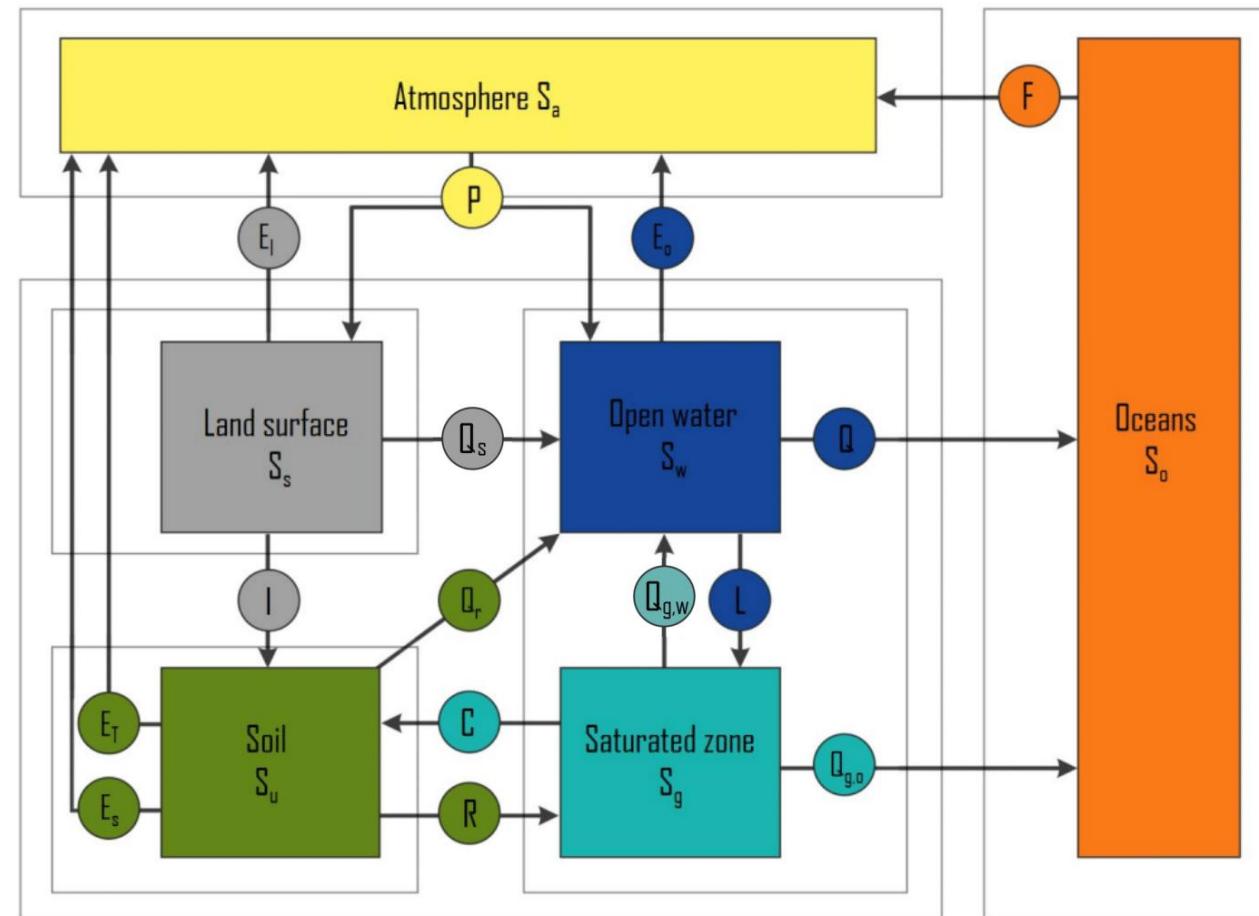
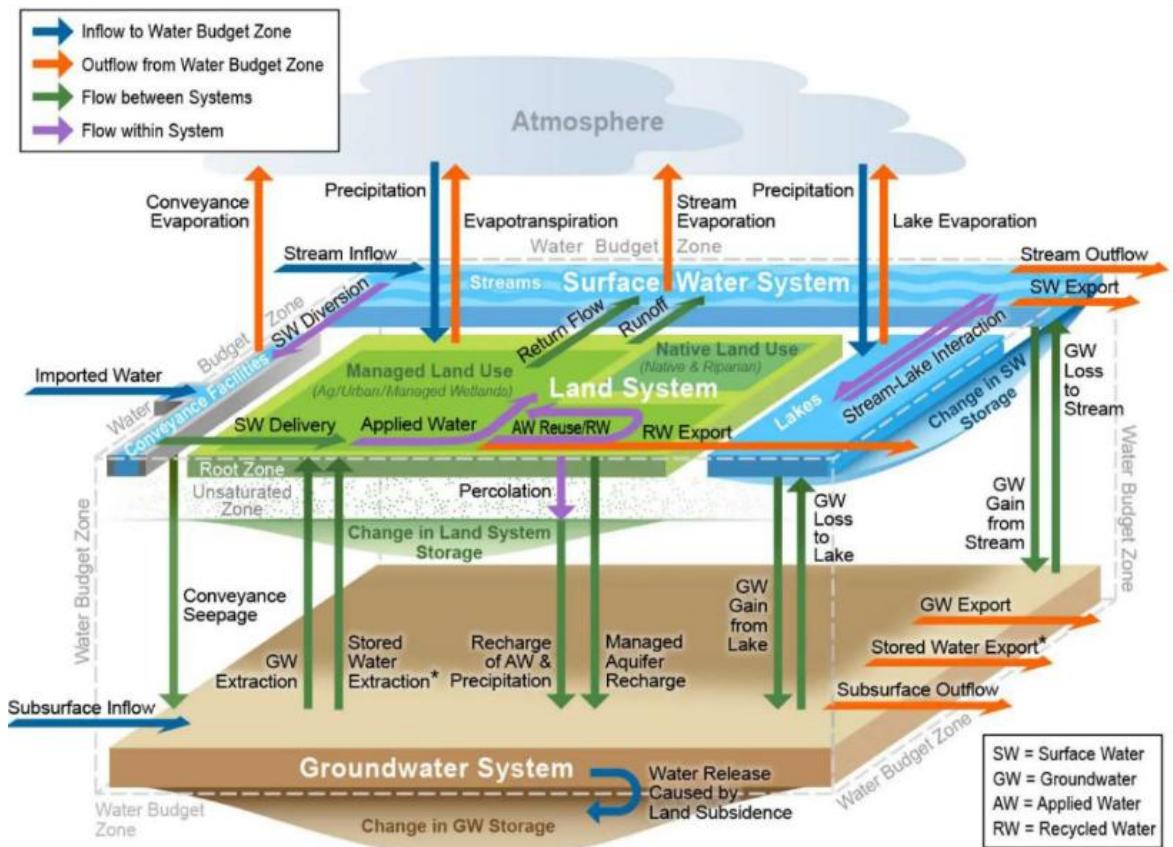
Sistema trifásico

Sistema bifásico



Zona no saturada (ZNS)







$$\frac{dS}{dt} = Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}}$$

S	Almacenamiento
Q_{in}	Flujos entrantes
Q_{out}	flujos salientes

$$A = A_s + A_w$$

$$E = E_i + E_t + E_s + E_o$$

$$Q_{\text{in}} = PA$$

$$Q_{\text{out}} = EA + Q$$

$$S = S_s + S_u + S_g + S_w$$

P	Precipitación
A	Área
E	Evaporación
Q	Descarga del río

S_s	Almacenamiento en la superficie terrestre
S_u	Almacenamiento en el suelo (humedad del suelo en la zona no saturada)
S_g	Almacenamiento en zona saturada (agua subterránea)
S_w	Almacenamiento en aguas abiertas

A_s Área de superficie terrestre

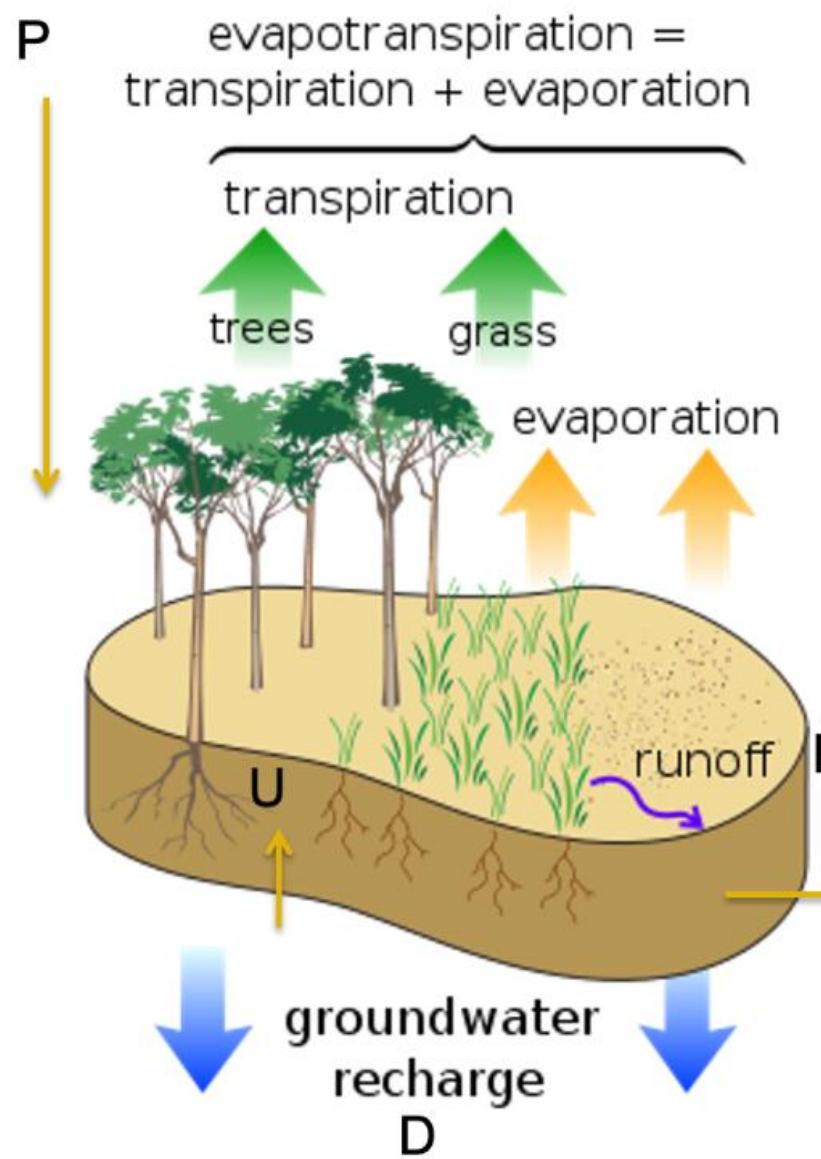
A_w Área de agua superficial

E_i Interceptación

E_t Transpiración

E_s Evaporación del suelo

E_o Evaporación en aguas abiertas



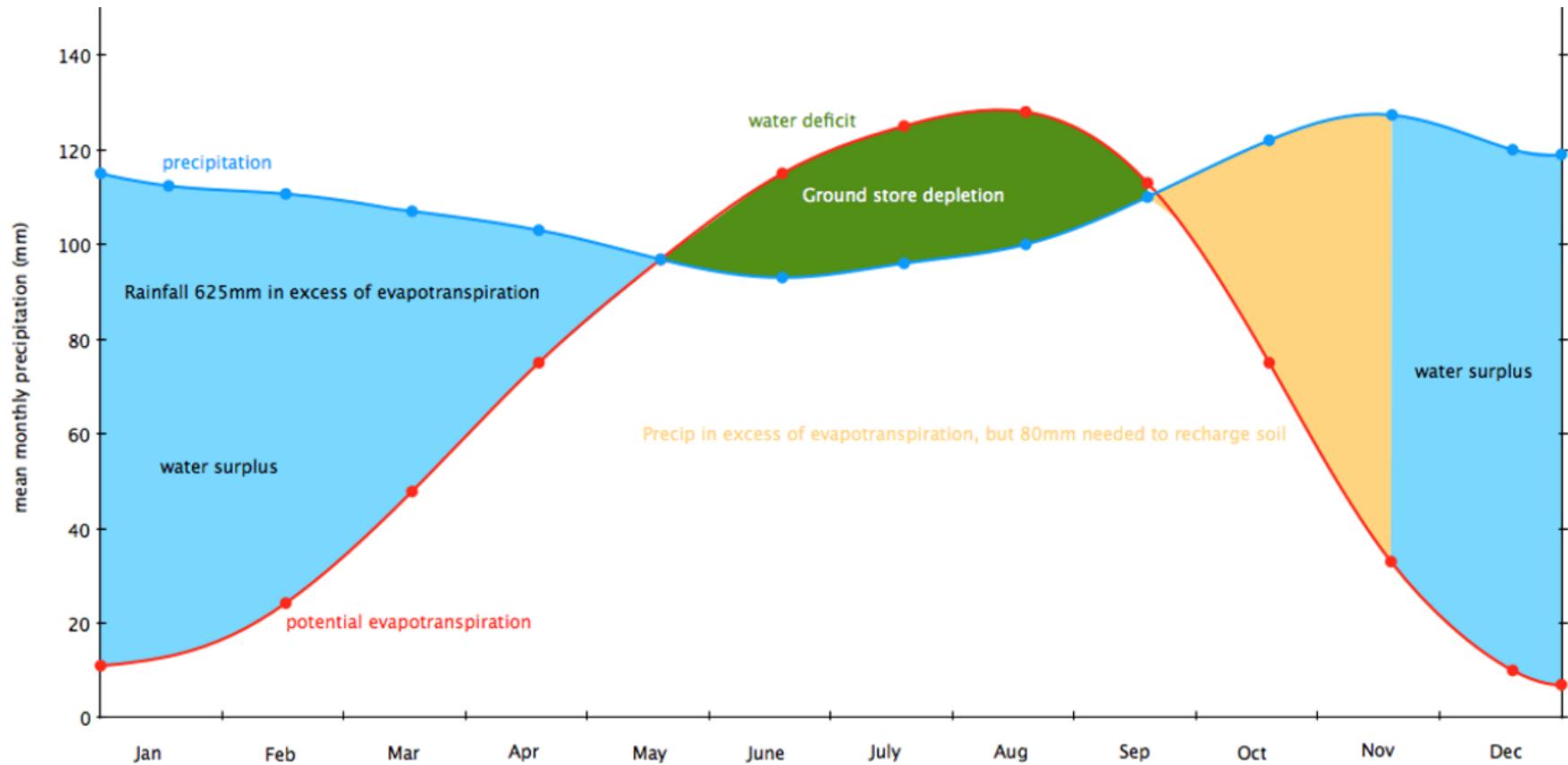
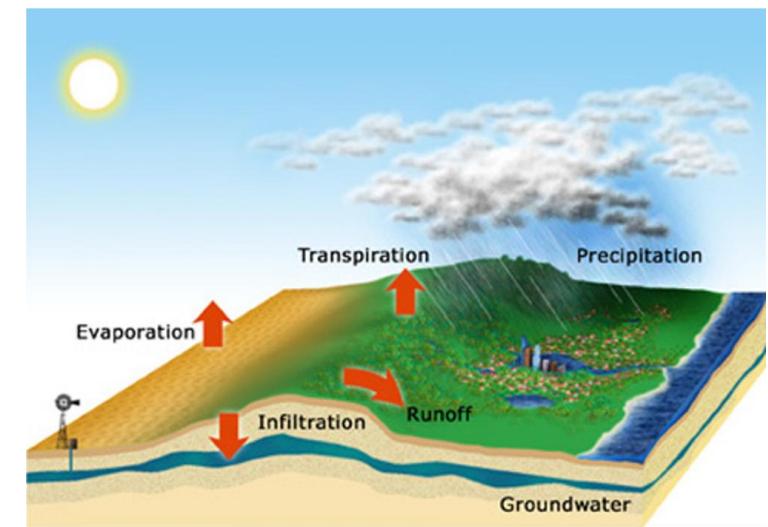
$$(P + I + U) - (ET + R + D + L) = \Delta S$$

donde:

- P = precipitación
- U = flujo capilar ascendente
- I = aportes de riego
- ET = evapotranspiración
- R = escorrentía
- D = drenaje vertical (percolación)
- L = drenaje lateral
- ΔS = cambio en el almacenamiento de agua en el suelo (almacenamiento hídrico del suelo)



Escorrentía = Precipitación – Evapotranspiración ± Cambios de almacenamiento





$$P + GW_{in} - (Q + ET + GW_{out}) = \Delta S$$

Dingman, 2002

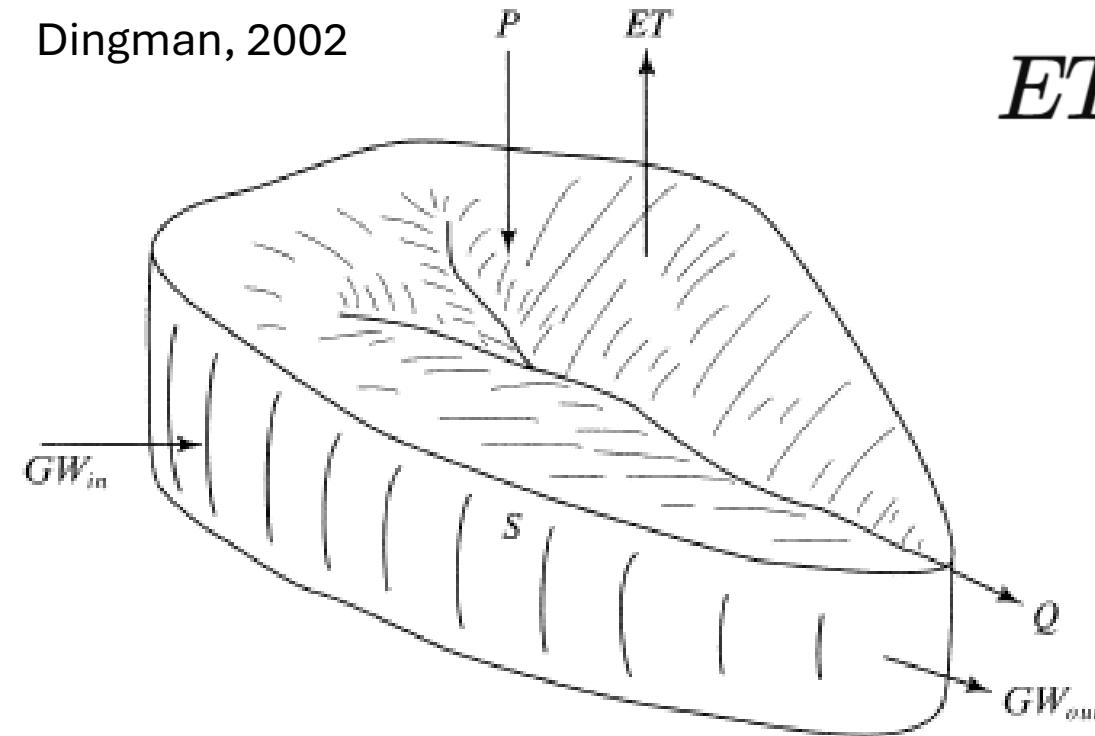


Figure 1.12 Schematic three-dimensional diagram of a watershed, showing the components of the regional water balance: P = precipitation, ET = evapotranspiration, Q = stream outflow, GW_{in} = ground-water inflow, GW_{out} = ground-water outflow.

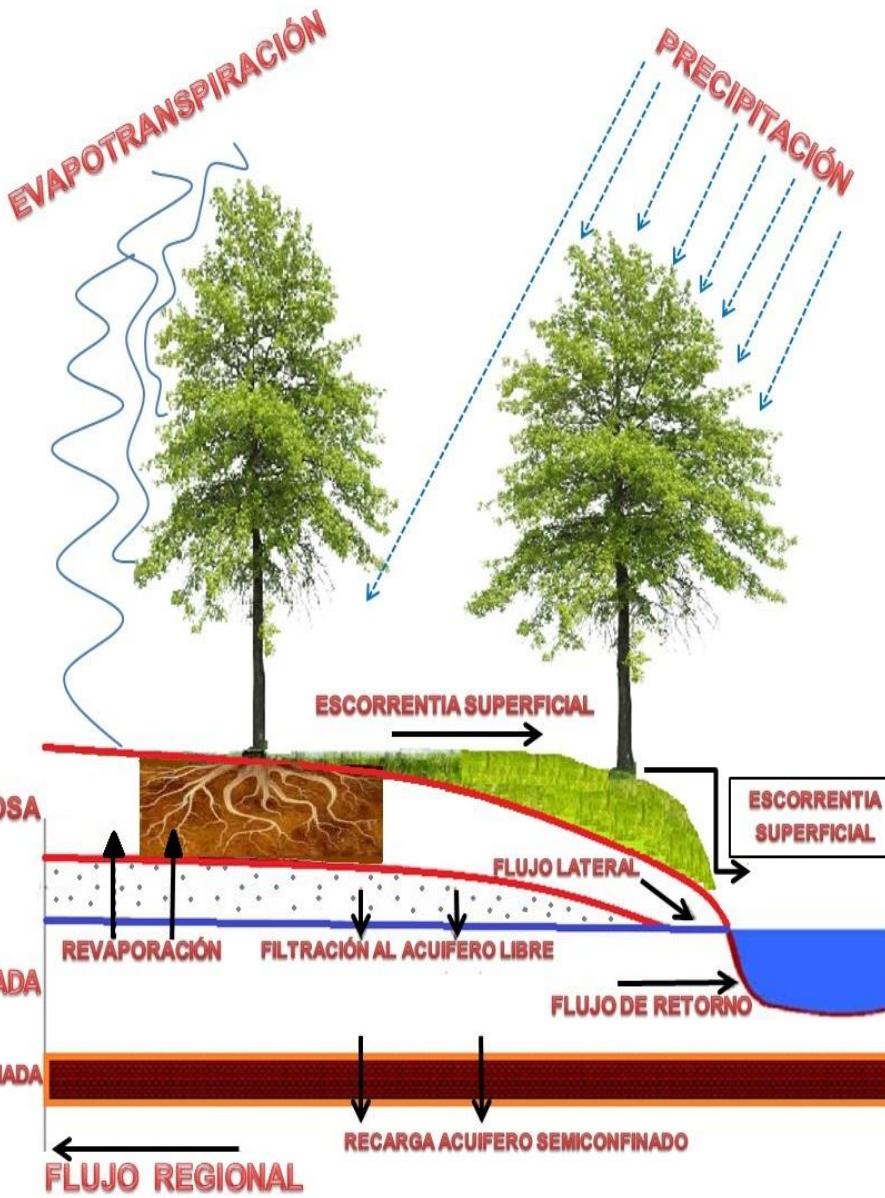
$$ET = P + GW_{in} - Q - GW_{out} - \Delta S$$

Ecuación del Balance Hídrico

$$P + I = ET + DR + RO - \Delta W$$

Definiciones de variables

- P → Precipitación
- I → Irrigación
- ET → Evapotranspiración (suelo y planta)
- DR → Drenaje
- RO → Escorrentía superficial
- ΔW → Cambio en el almacenamiento de agua dentro del perfil del suelo (agotamiento de agua en el suelo)



Ecuación del balance hídrico

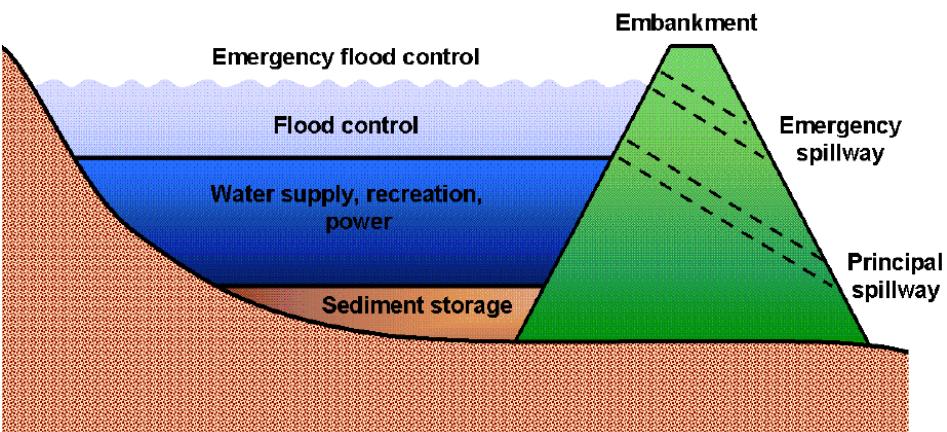
$$SWt = SWo + \sum (Rday - Qsurf - Ea - Wseep - Qgw)$$

- SWt = Contenido final de agua del suelo (soil water content) (mm)
- SWo = Contenido Inicial de agua del suelo en el día i (mm)
- t = tiempo (días)
- $Rday$ = Lluvia caída en el día i (mm)
- $Qsurf$ = Escurrimiento ocurrido en el día i (mm)
- Ea = Evapotranspiración en el día i (mm)
- $Wseep$ = Cantidad de agua de percola del perfil de suelo a la napa freática en el día i (mm)
- Qgw = Flujo subterráneo en el día i (mm).



RESERVORIOS

$$V = V_{stored} + V_{flowin} - V_{flowout} + V_{pcp} - V_{evap} - V_{seep}$$

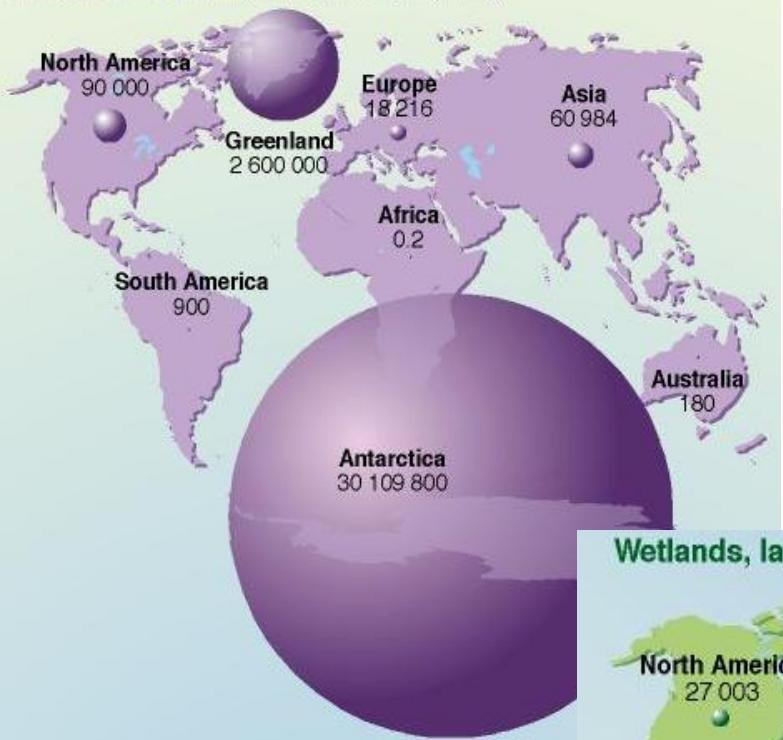




Global Freshwater Resources

Quantity and Distribution by Region

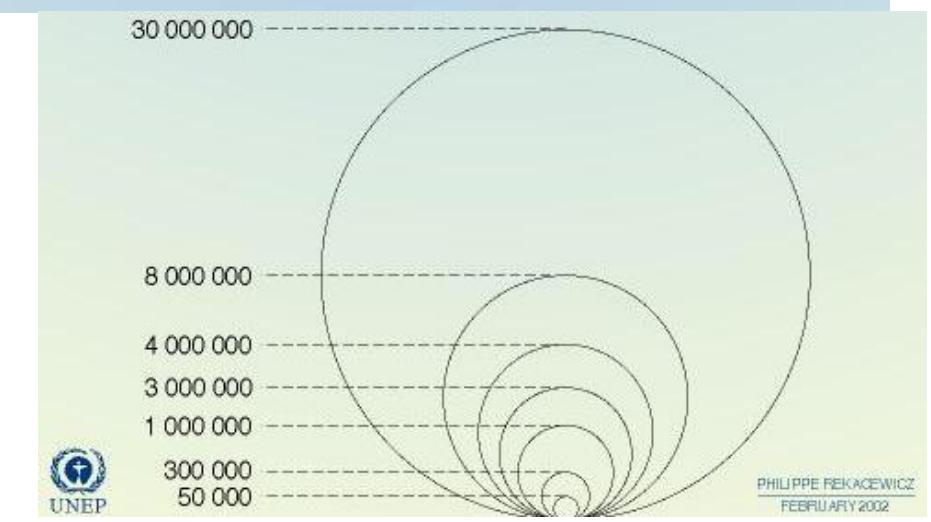
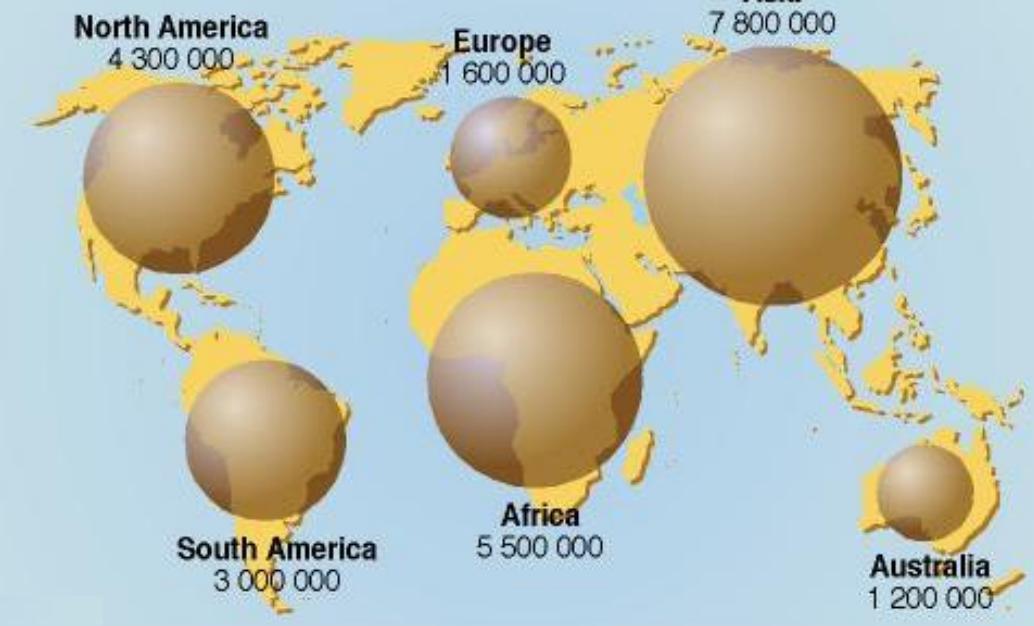
Glaciers and permanent ice caps (km³)



Wetlands, large lakes, reservoirs and rivers (km³)

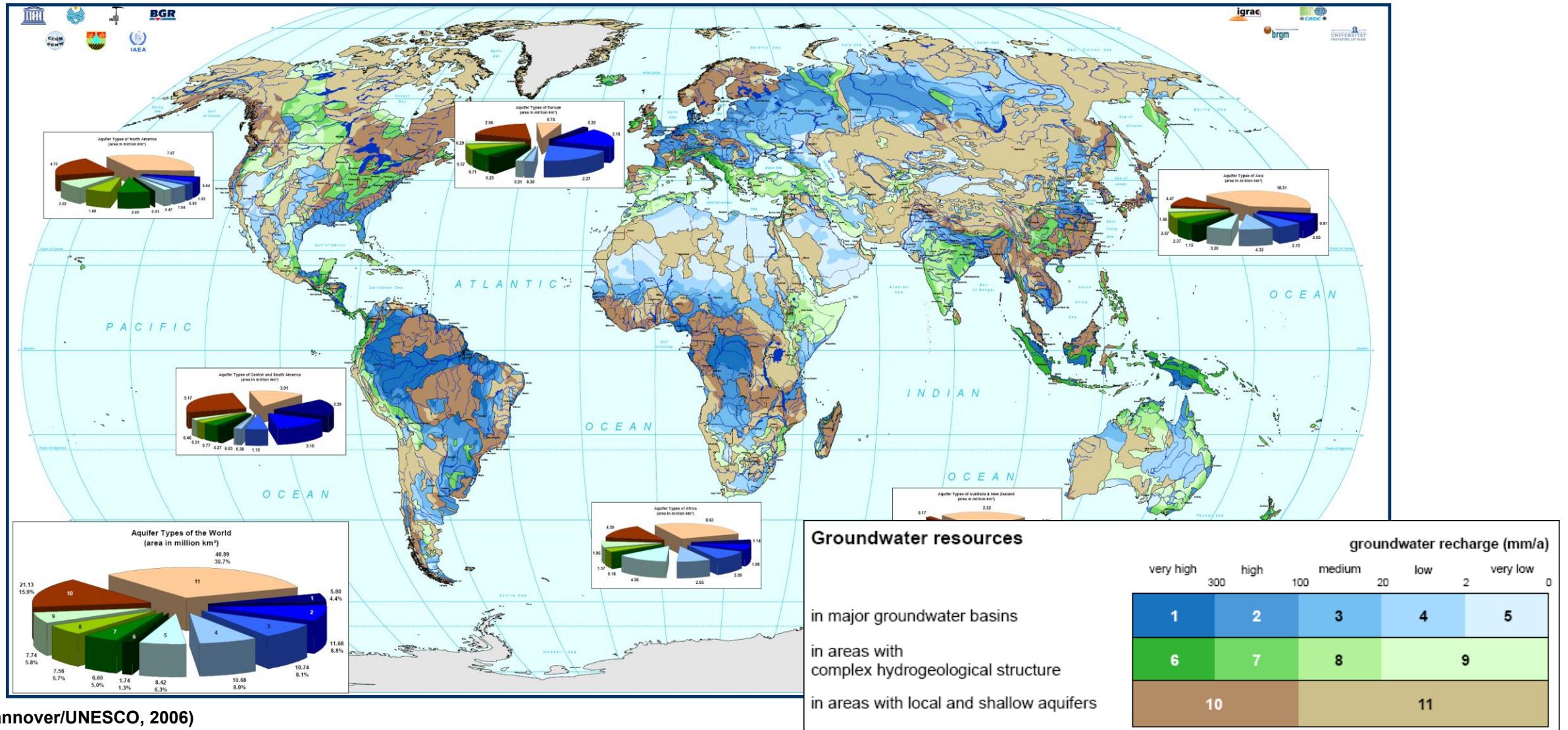


Groundwater (km³)



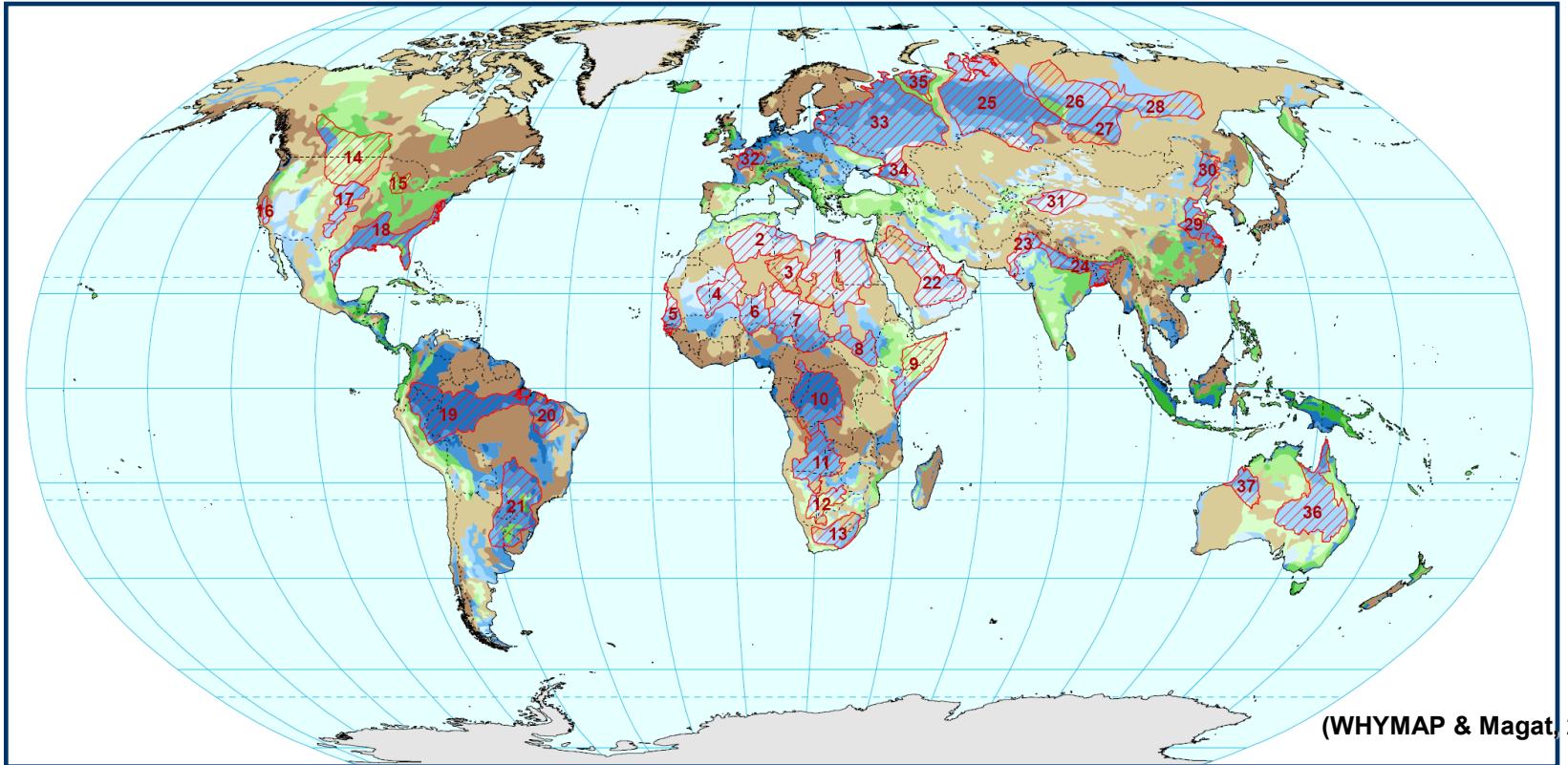


Groundwater resources of the world



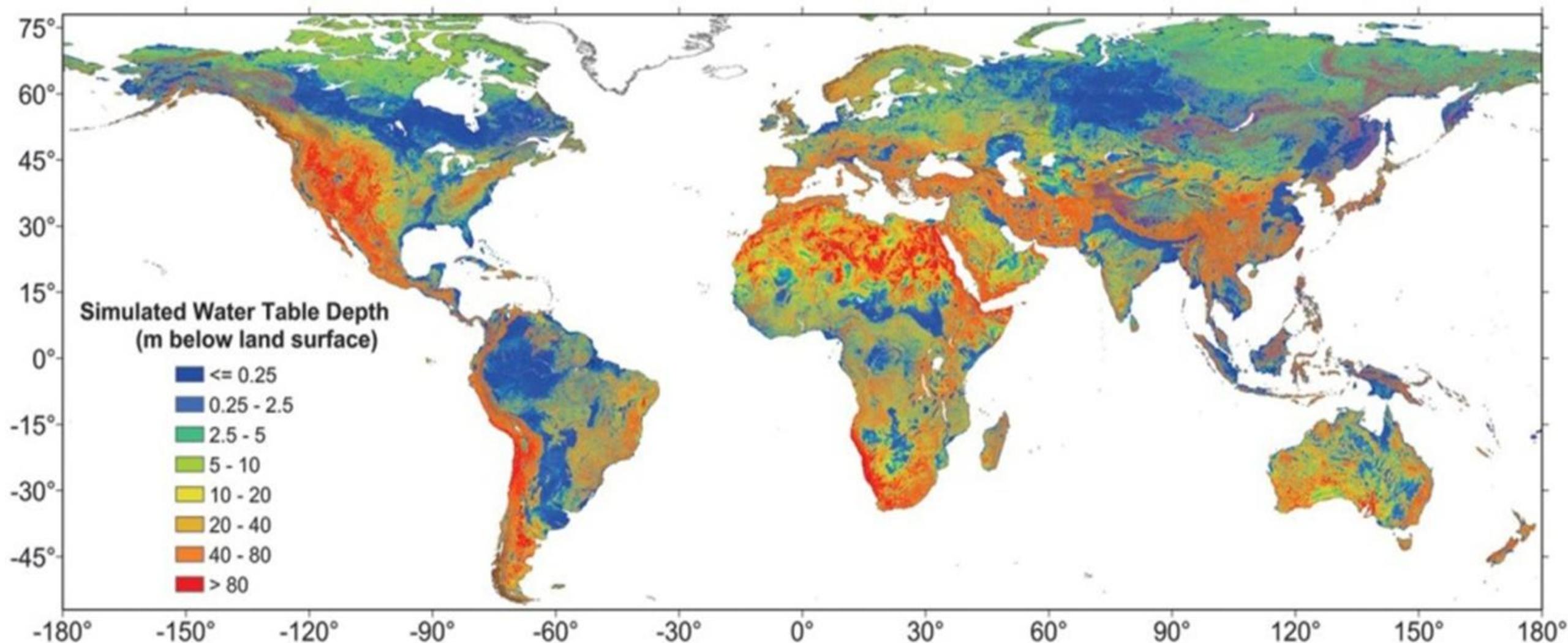


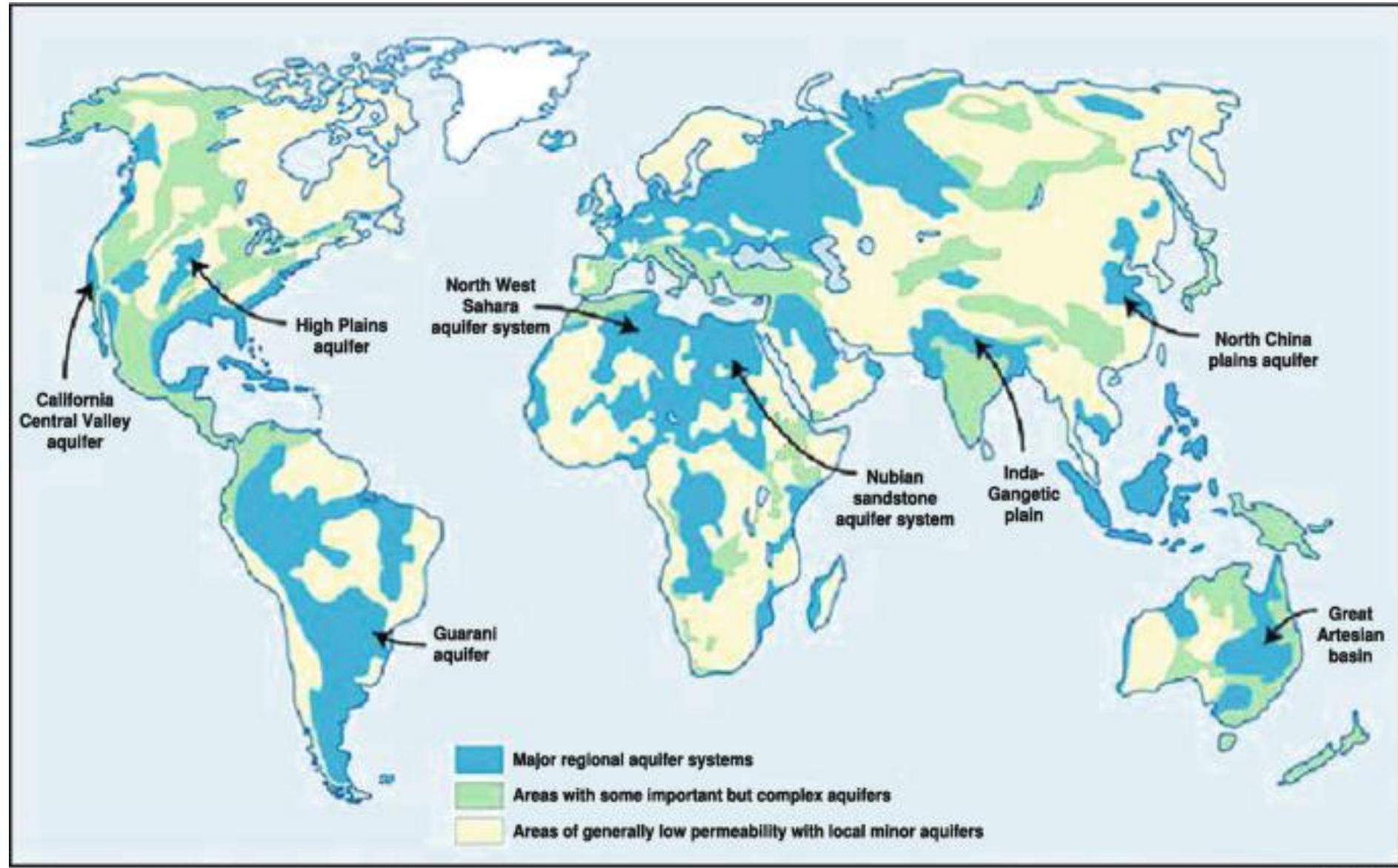
Mega-aquifers: Large aquifer systems containing very old groundwaters



Large Aquifer Systems

- | | | | |
|--|---|--------------------------------------|----------------------------------|
| 1. Nubian Aquifer System (NAS) | 11. Northern Kalahari Basin | 21. Guarani Aquifer System | 31. Tarim Basin |
| 2. Northwest Sahara Aquifer System (NWSAS) | 12. Southeast Kalahari Basin | 22. Arabian Aquifer System | 32. Parisian Basin |
| 3. Murzuk-Djado Basin | 13. Karoo Basin | 23. Indus Basin | 33. East European Aquifer System |
| 4. Taoudeni-Tanezrouft Basin | 14. Northern Great Plains / Interior Plains Aquifer | 24. Ganges-Brahmaputra Basin | 34. North Caucasus Basin |
| 5. Senegalo-Mauritanian Basin | 15. Cambro-Ordovician Aquifer System | 25. West Siberian Artesian Basin | 35. Pechora Basin |
| 6. Iullemeden-Irhazer Aquifer System | 16. California Central Valley Aquifer System | 26. Tunguss Basin | 36. Great Artesian Basin |
| 7. Chad Basin | 17. High Plains-Ogallala Aquifer | 27. Angara-Lena Artesian Basin | 37. Canning Basin |
| 8. Sudd Basin (Umm Ruwaba Aquifer) | 18. Gulf Coastal Plains Aquifer System | 28. Yakut Basin | |
| 9. Ogaden-Juba Basin | 19. Amazonas Basin | 29. North China Plain Aquifer System | |
| 10. Congo Intracratonic Basin | 20. Maranhao Basin | 30. Songliao Basin | |

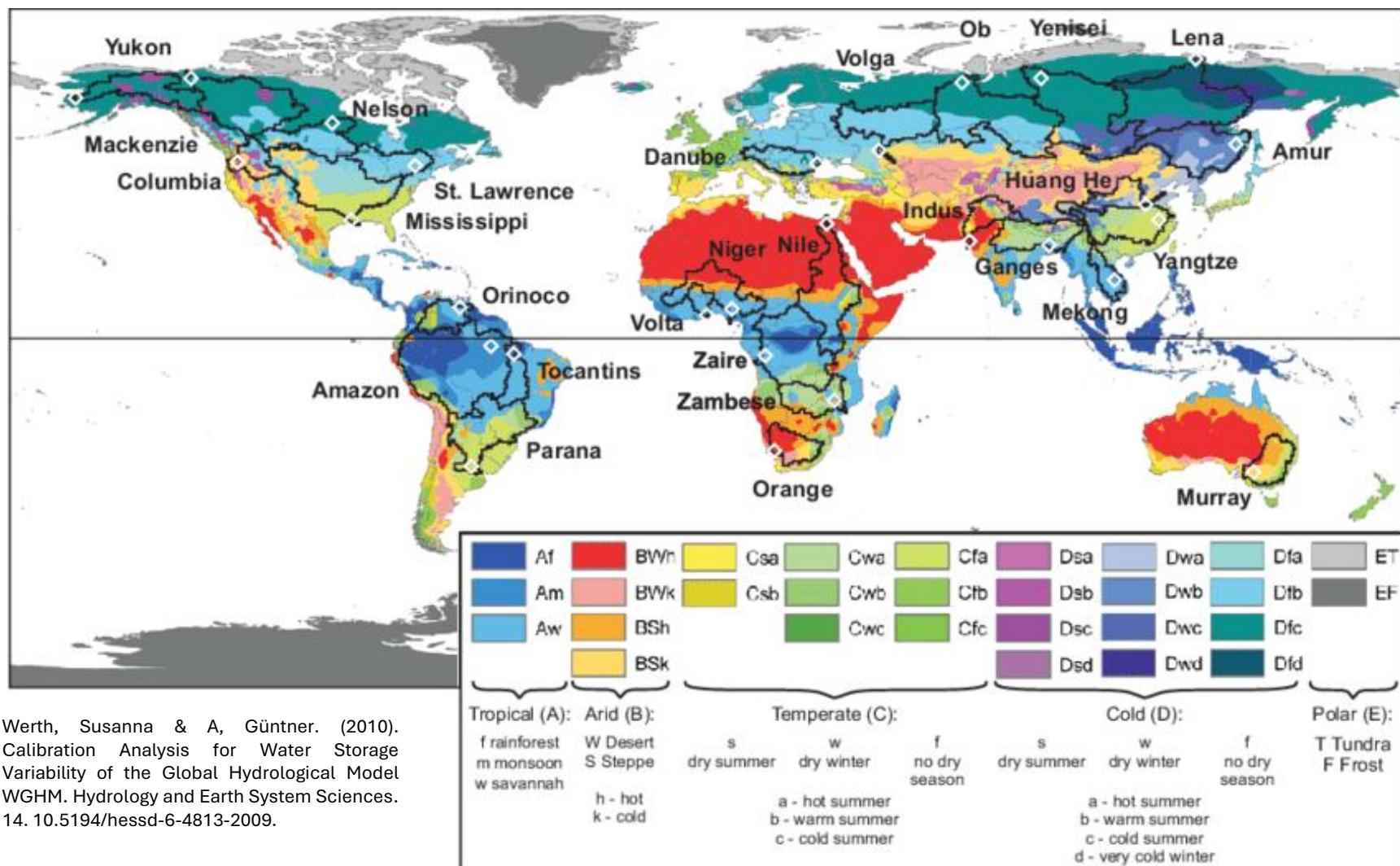




Alsharhan, A.S., Rizk, Z.E. (2020). Overview on Global Water Resources. In: Water Resources and Integrated Management of the United Arab Emirates. World Water Resources, vol 3. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-31684-6_2

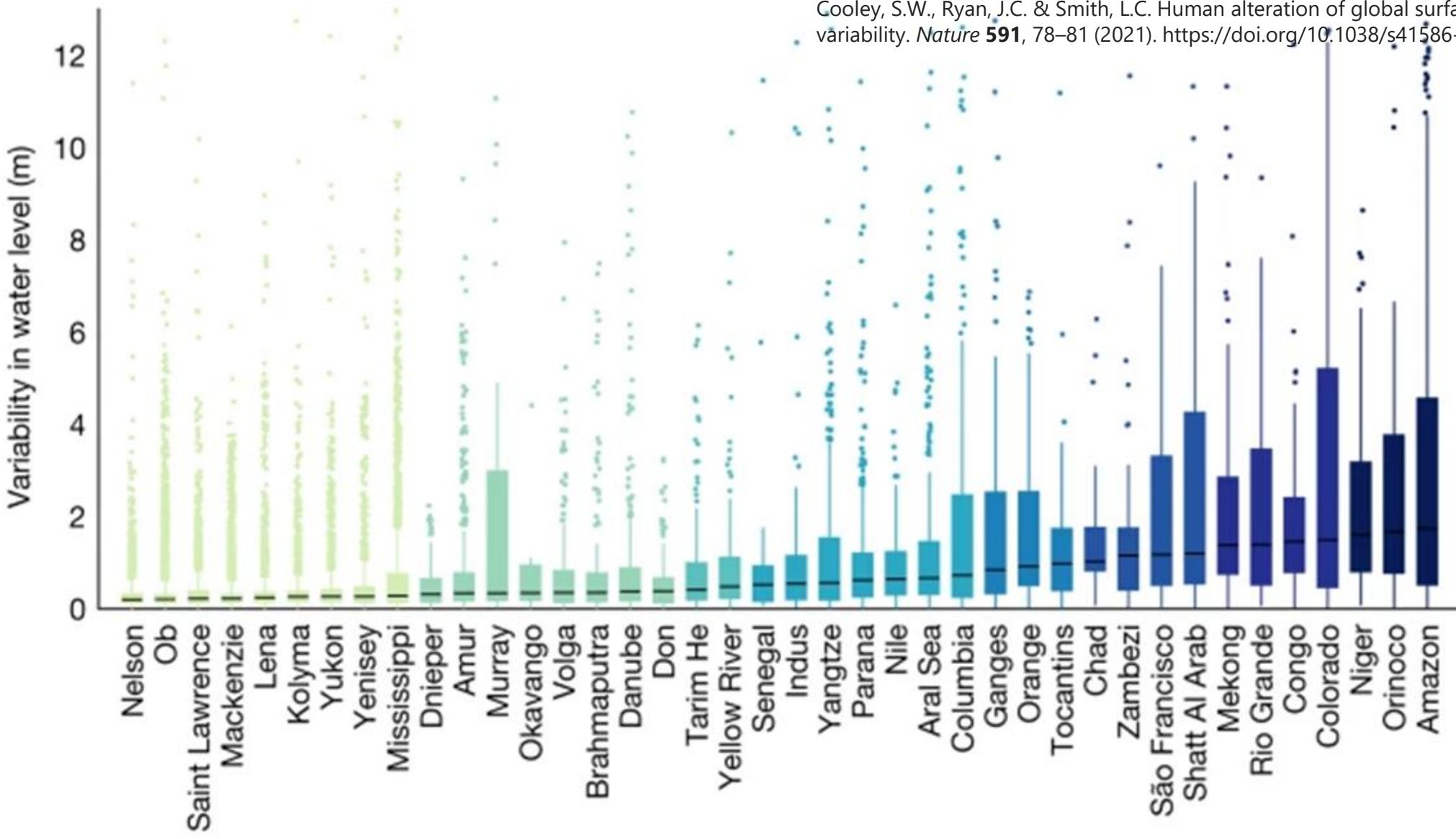


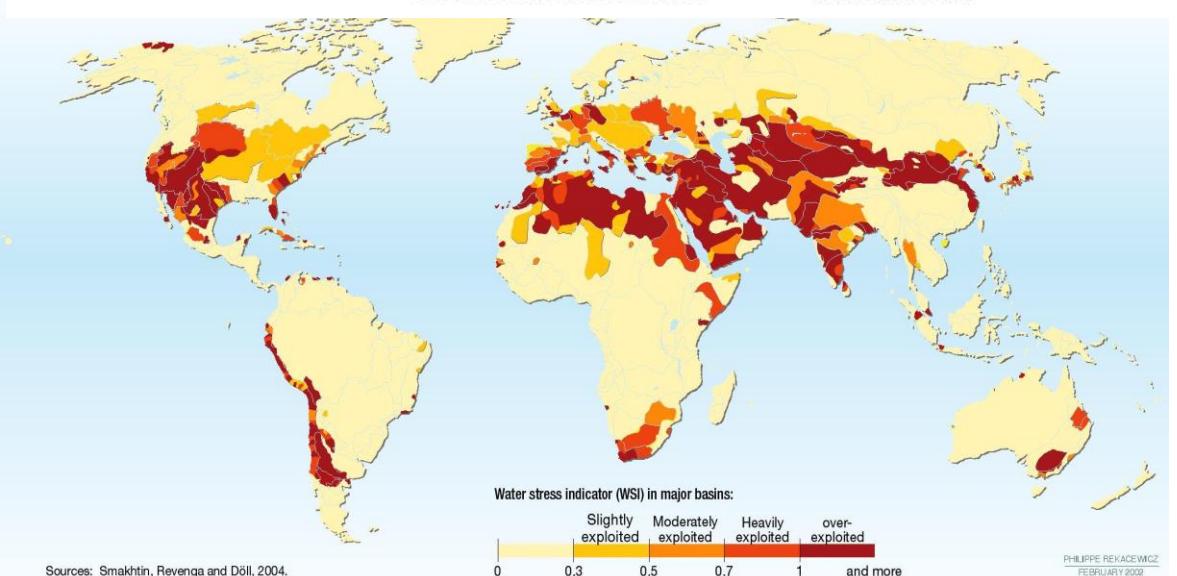
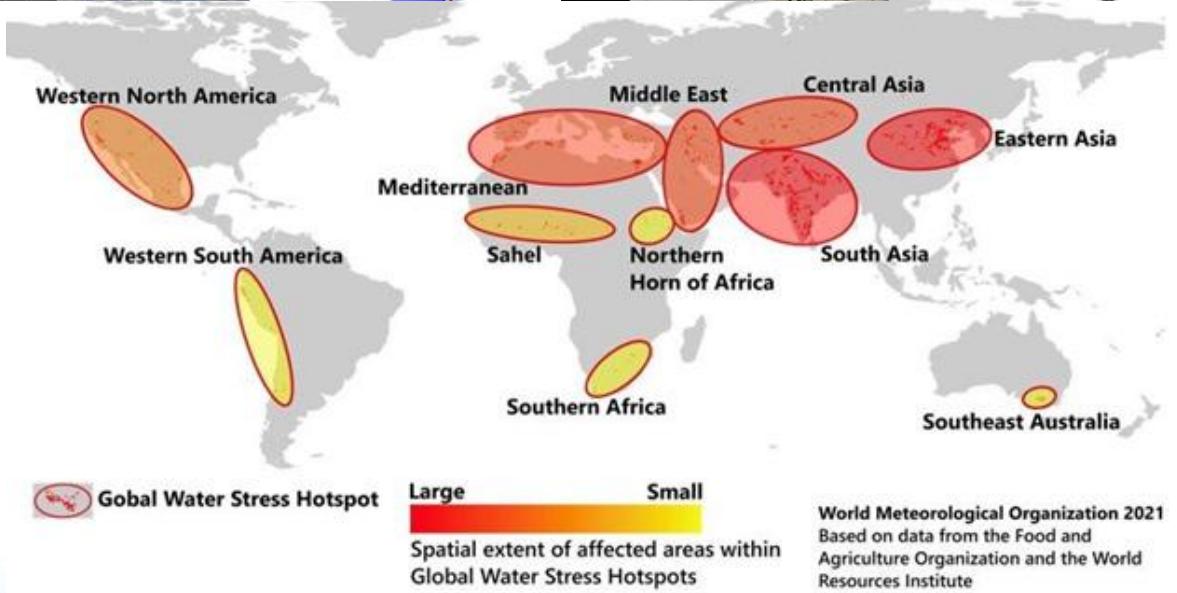
Las 28 cuencas fluviales más grandes e importantes del mundo (polígonos negros) con las zonas climáticas subyacentes de K " oppen-Geiger (para 1951-2000, por Peel et al., 2007)





Cooley, S.W., Ryan, J.C. & Smith, L.C. Human alteration of global surface water storage variability. *Nature* **591**, 78–81 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03262-3>



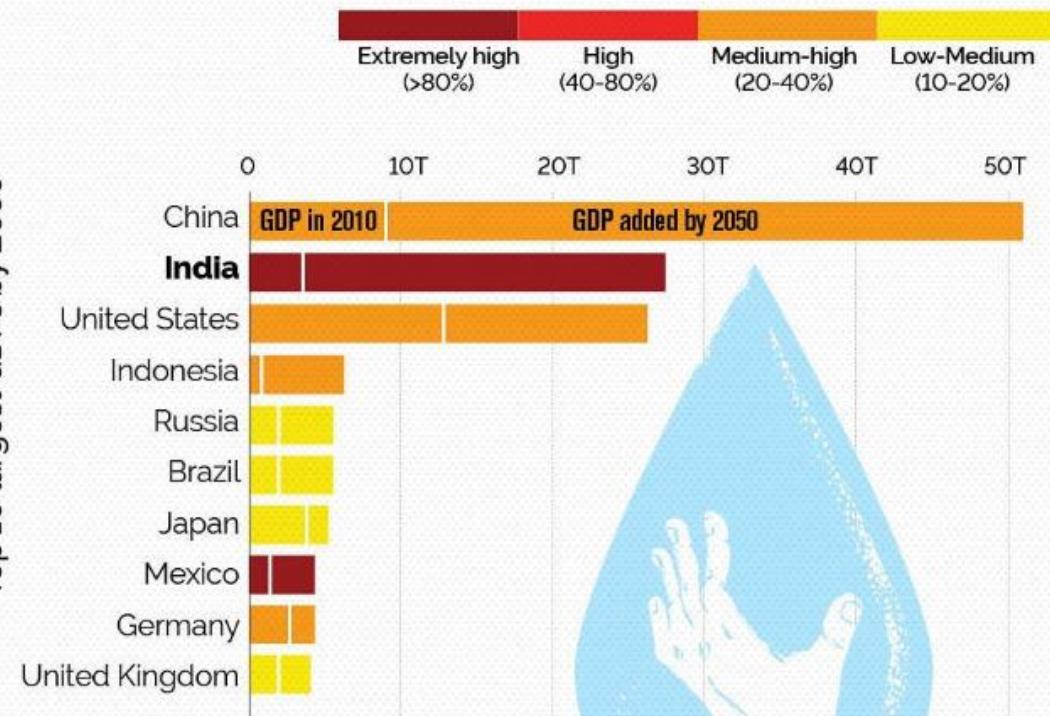


THE ECONOMIC IMPACT OF GLOBAL WATER STRESS

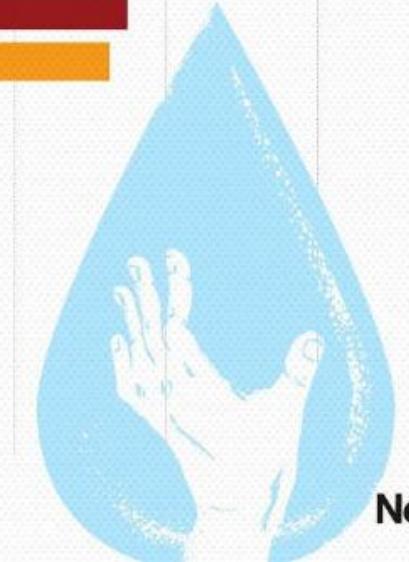
PROJECTED GDP AND WATER STRESS
Top 10 largest GDPs by 2050

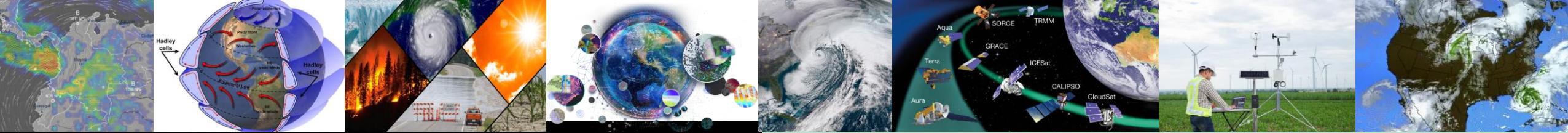


According to data from Aqueduct, 31% of global GDP – a whopping \$70 trillion – will be exposed to high water stress by 2050



SOURCE: WORLD RESOURCES INSTITUTE, AQUEDUCT





1. Bahrain
2. Cyprus
3. Kuwait
4. Lebanon
5. Oman
6. Qatar
7. United Arab Emirates
8. Saudi Arabia
9. Israel

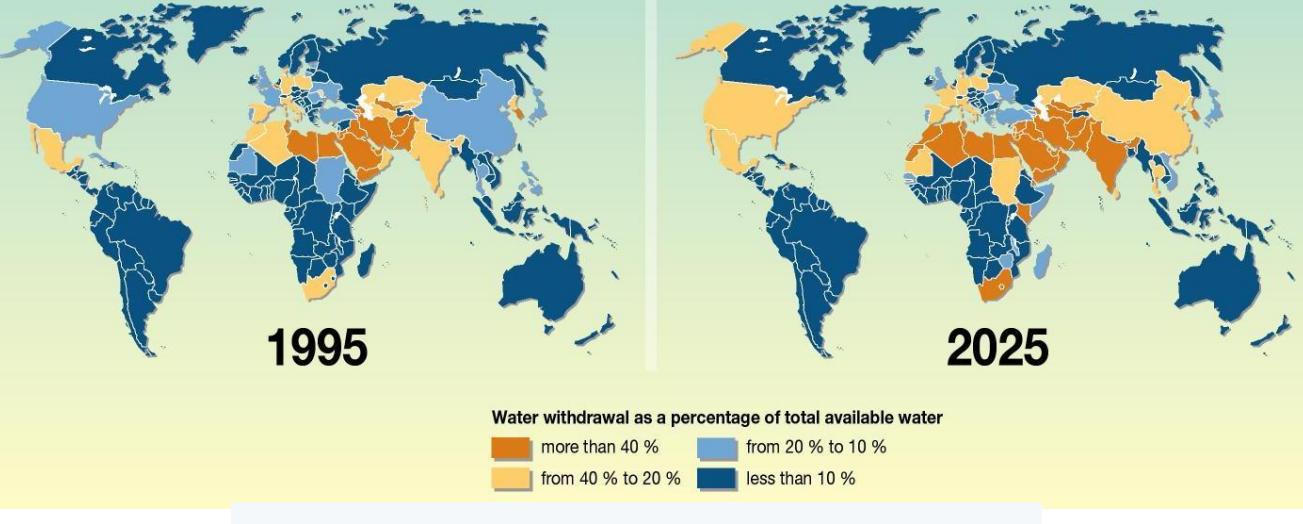
10. Egypt
11. Libya
12. Yemen
13. Botswana
14. Iran
15. Jordan
16. Chile
17. San Marino
18. Belgium
19. Greece
20. Tunisia
21. Namibia
22. South Africa
23. Iraq
24. India
25. Syria

Network 18 creative



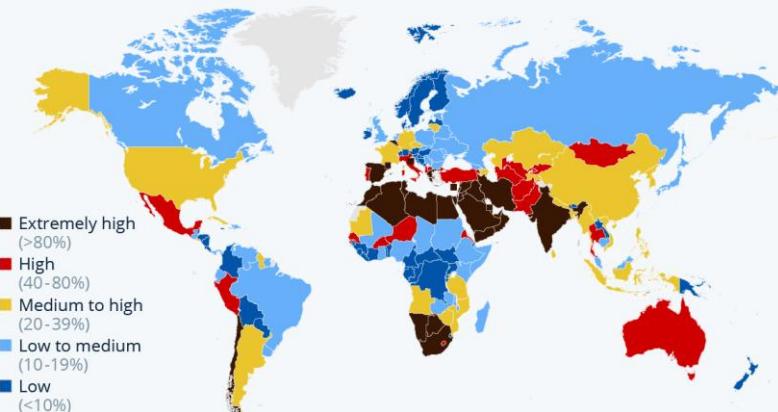
Water stress or scarcity occurs when the demand for safe, usable water in a given area exceeds the available amount during a certain period. **This map shows countries where more users are competing for limited supply of clean, usable water.**

SOURCE: WORLD RESOURCES INSTITUTE, AQUEDUCT



Where Water Stress Will Be Highest by 2050

Projected ratio of human water demand to water availability (water stress level) in 2050*

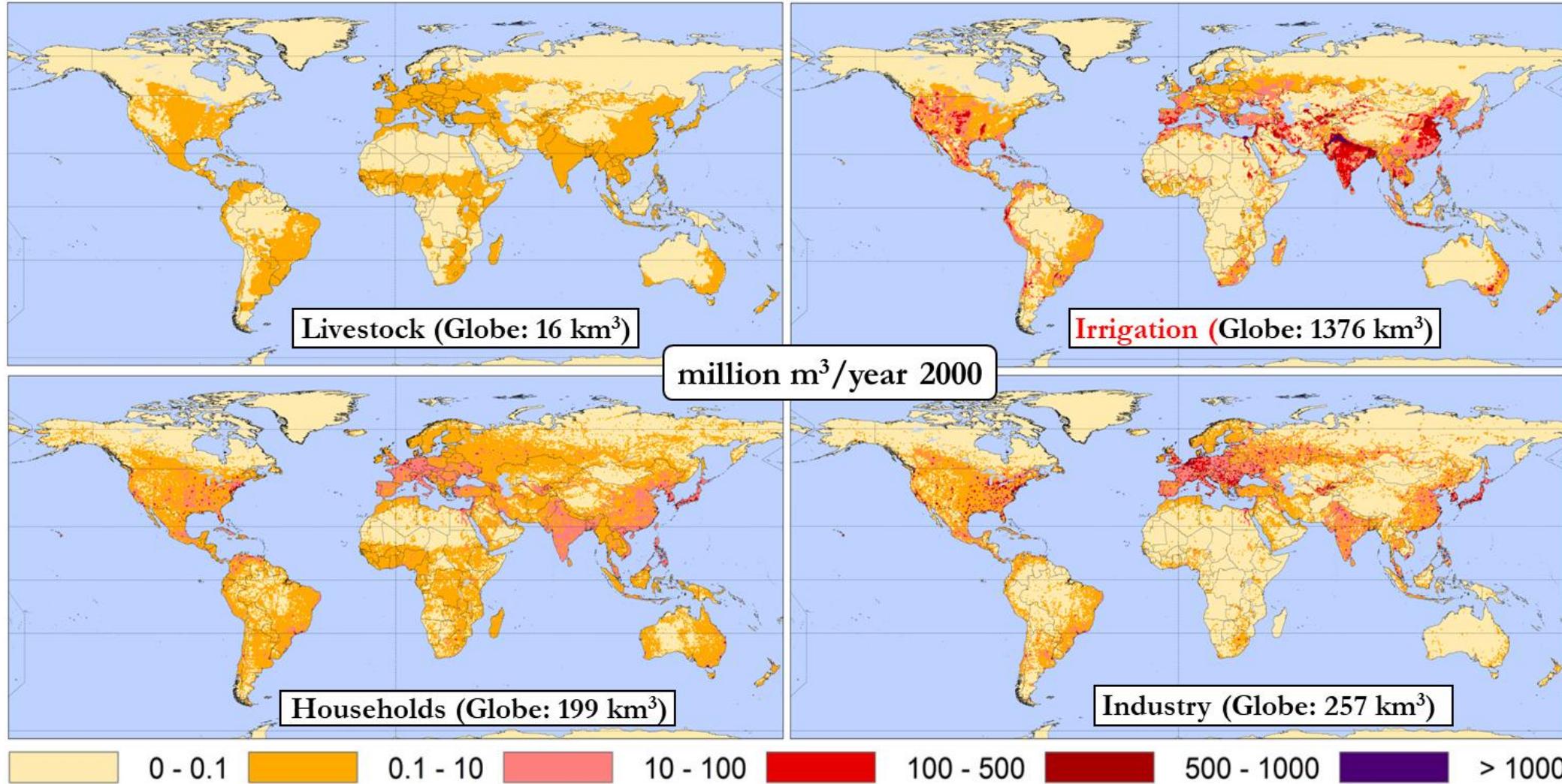


* According to "business as usual" scenario=middle-of-the-road future where temperatures increase by 2.8°C to 4.6°C by 2100

Source: World Resources Institute



Global demand for surface water

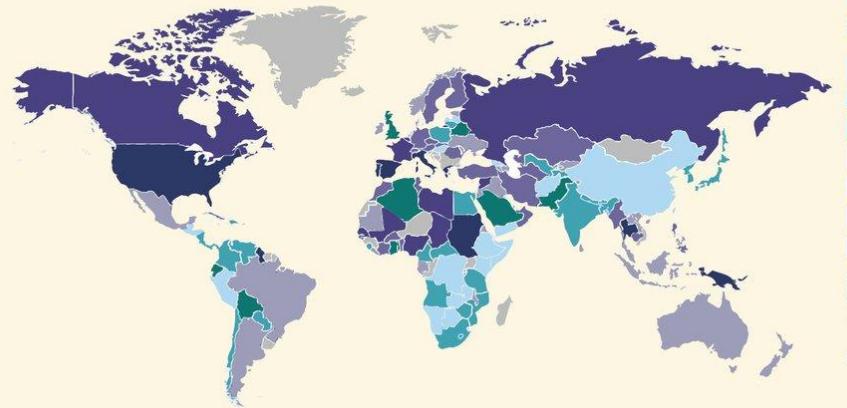


Agriculture = 74%

Wada et al., HESS, 2011



World Water Use

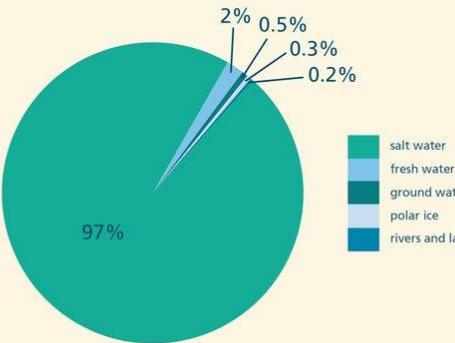


Water footprint
per capita (m³)

- 600 – 1000
- 1000 – 1200
- 1200 – 1300
- 1300 – 1500
- 1500 – 1800
- 1800 – 2100
- 2100 – 2500

global average water
footprint is around
1,240
m³ per person

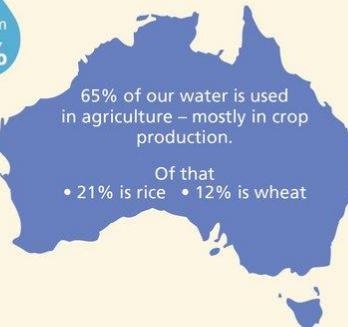
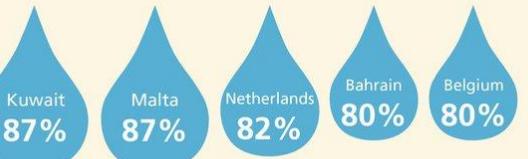
Breakdown of the
world's water types



Highest water footprint per capita



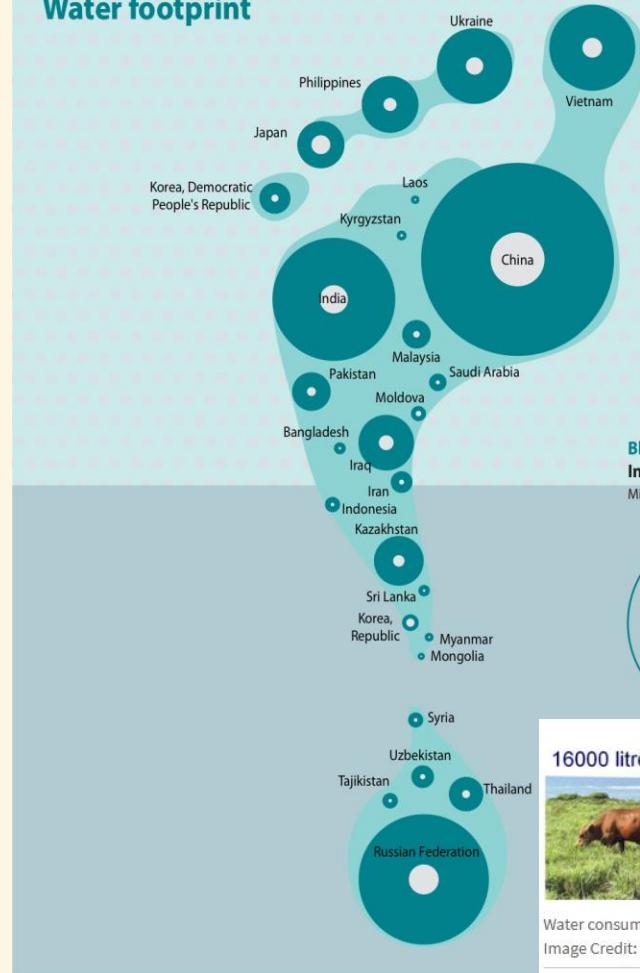
Countries most dependent on water imports



Water footprint of different foods



Water footprint



Blue and Gray water footprint for the Industry sector in selected Asian countries

Million of cubic metres per year

82 000



16000 litres water



Water consumption to produce one kg beef
Image Credit: C. Studer

1 kg beef

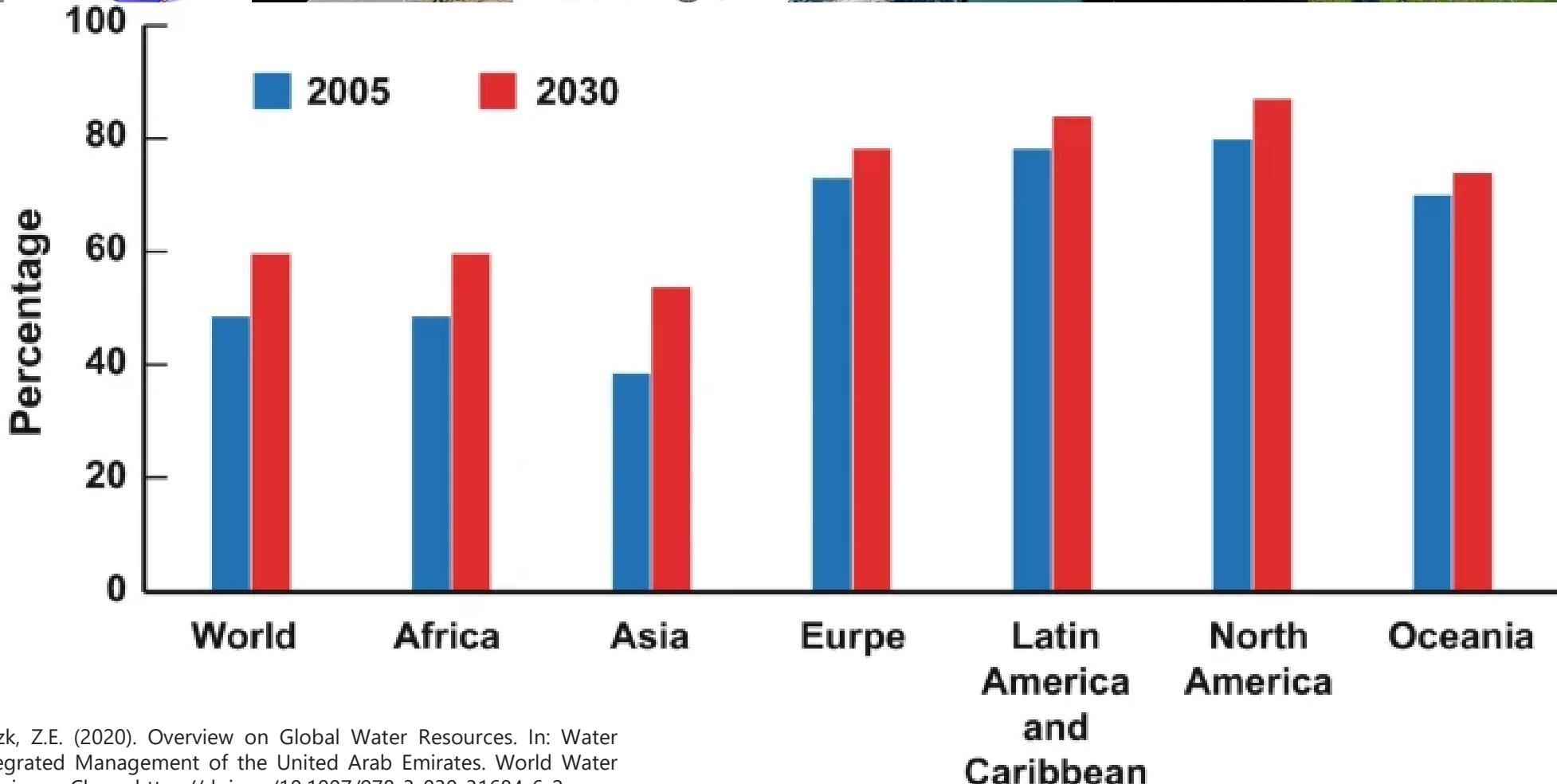


140 litres water



1 cup of coffee

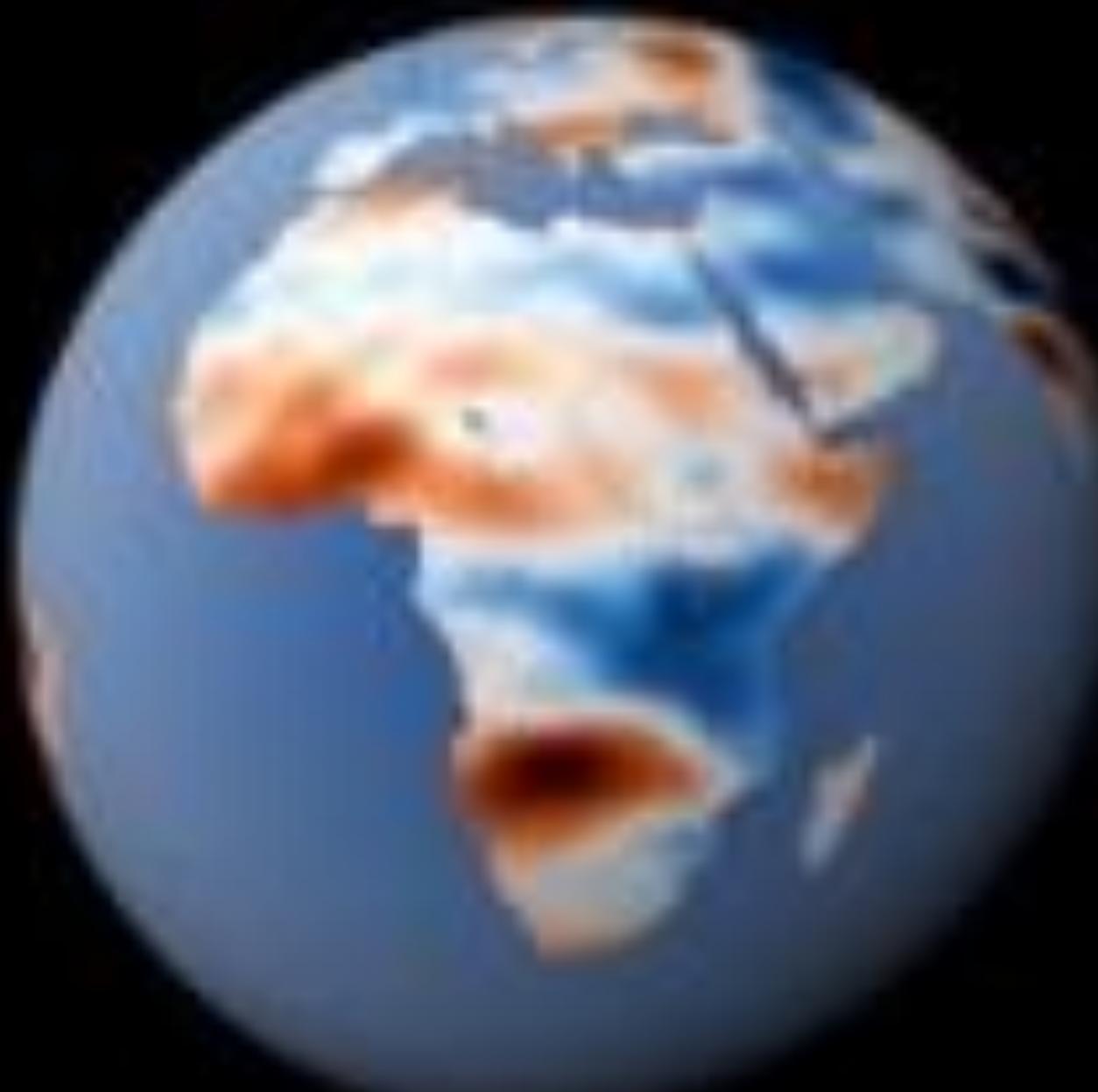
Water consumption to produce one cup of coffee



Alsharhan, A.S., Rizk, Z.E. (2020). Overview on Global Water Resources. In: Water Resources and Integrated Management of the United Arab Emirates. World Water Resources, vol 3. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-31684-6_2

The growth of the percentage of people living in urban areas around the globe in 2005 and 2030. (After UN [2007](#))

Jan 21, 2007





Need for better assessment and management of Surface and groundwater resources

Pressure on groundwater resources

- INCREASING DEMAND
- OVER-EXPLOITATION (impact on quality)
- POLLUTION OF SURFACE WATERS
- CLIMATE CHANGE

Better management of groundwater resources means:

- BETTER KNOWLEDGE OF AQUIFER SYSTEMS !!!
- GOOD LEGISLATION
- EFFICIENT ORGANIZATION
- FUNDING ...

While the intensity of groundwater use, partly encouraged by subsidized rural electrification, has led to the emergence of many groundwater-dependent economies, their future is now threatened by aquifer depletion and pollution. Prospects for relaxing use of these key aquifers, remediating water quality and restoring groundwater services to ecosystems look remote unless alternative management approaches are developed.



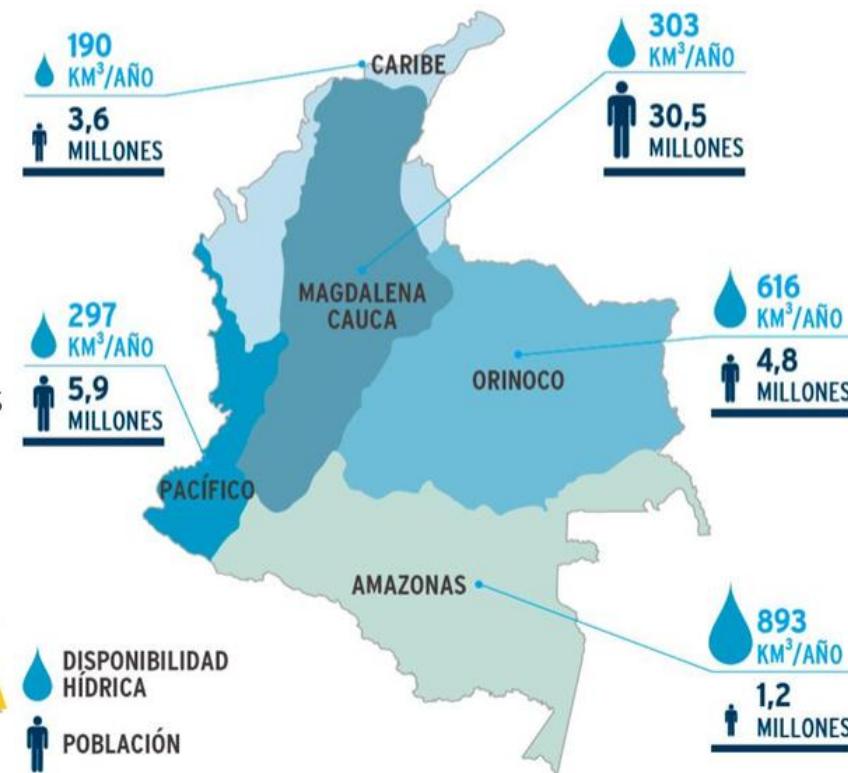
PRECIPITACIONES EN EL MUNDO SURAMÉRICA Y COLOMBIA

Fuente: Balance Hídrico Mundial y recursos hídricos de la tierra. Instituto de Hidrología UNE

BALANCE HÍDRICO GLOBAL

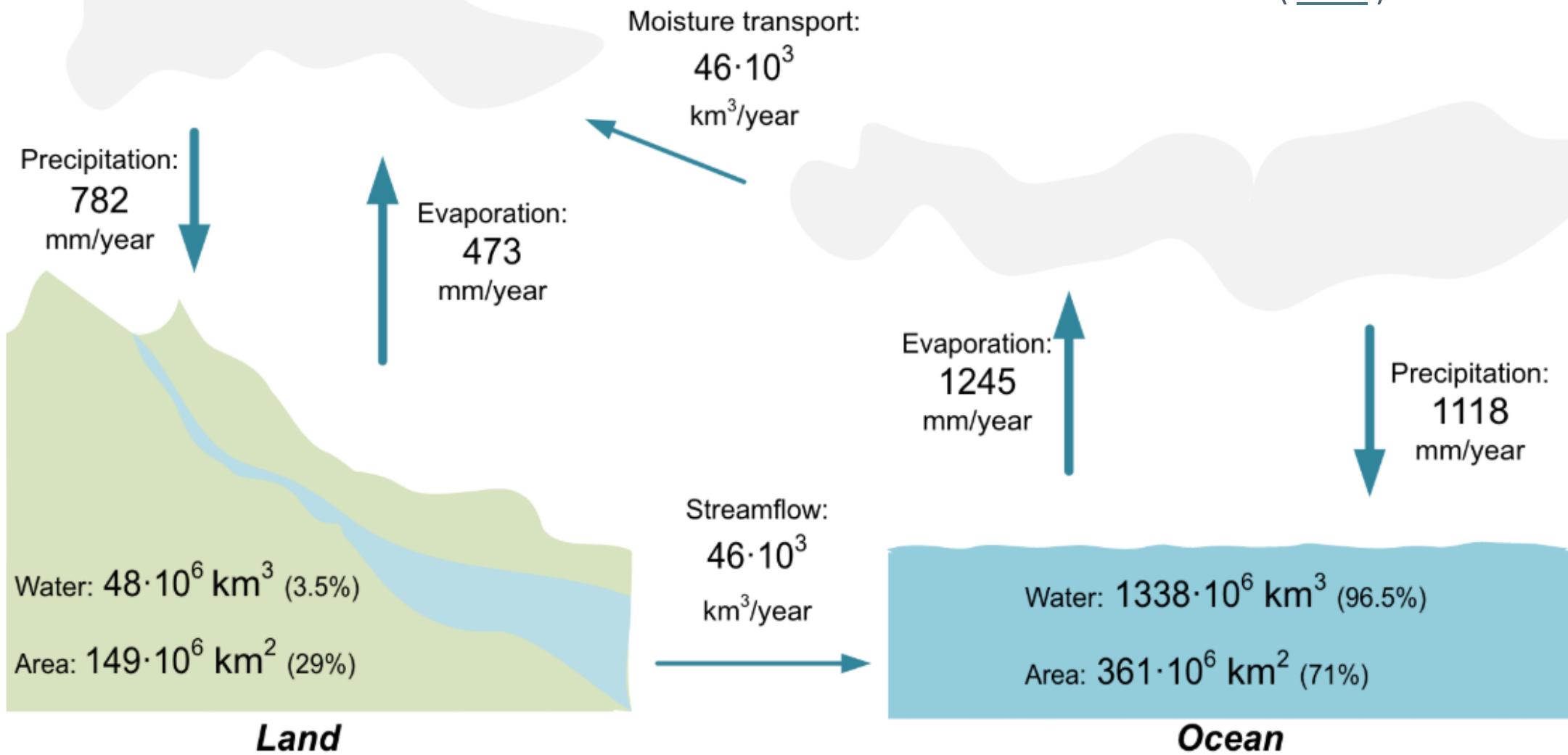


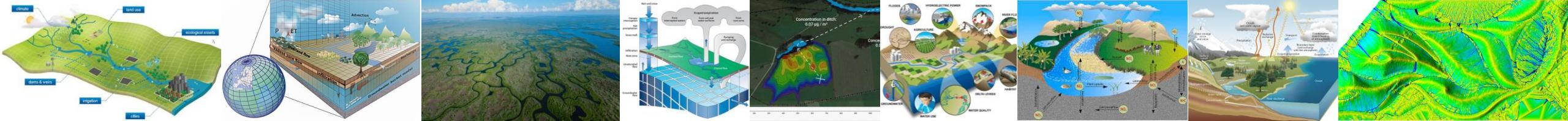
Disponibilidad hídrica en Colombia



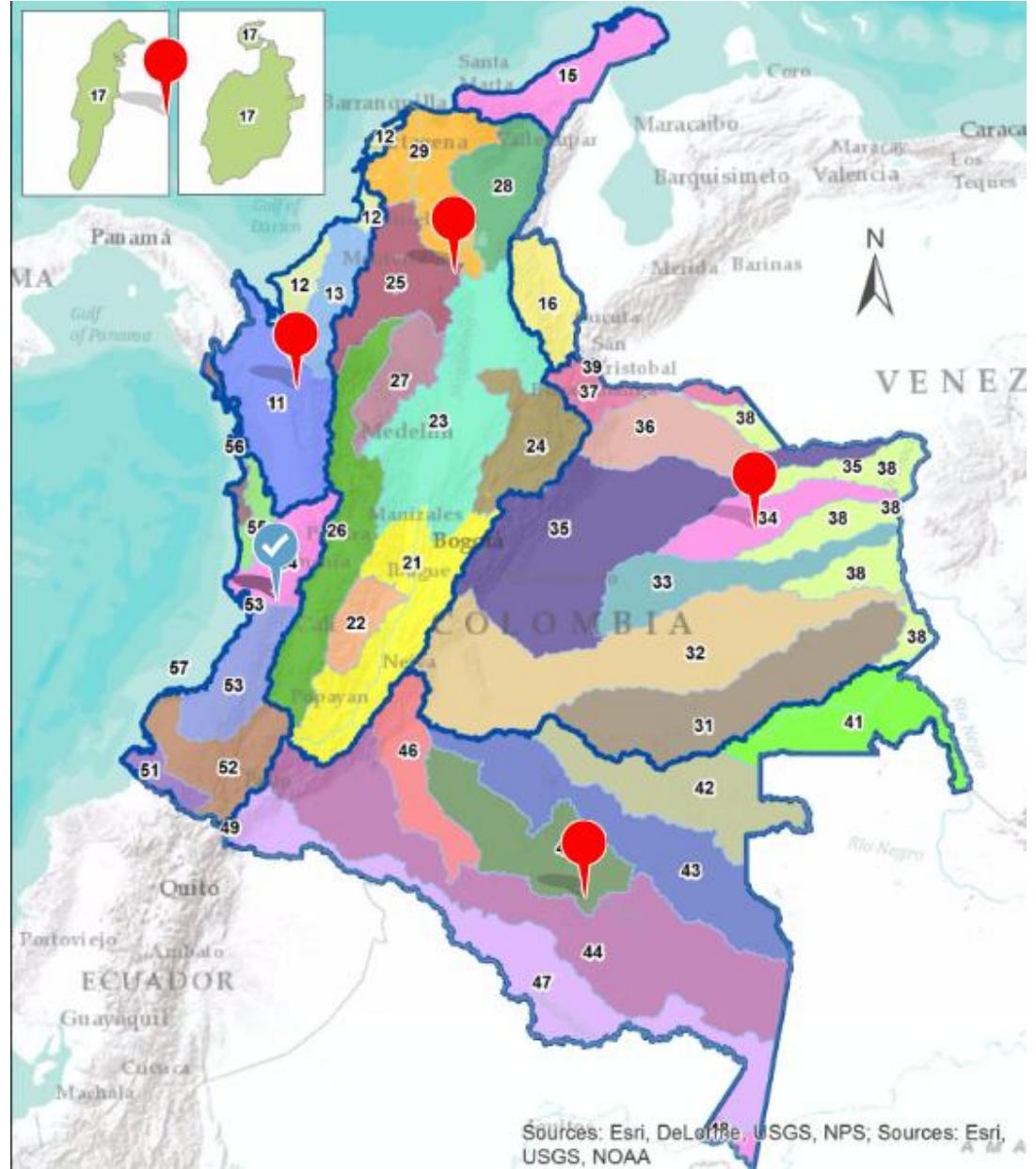


Rodell *et al.* (2015)





Vertientes hidrográficas o macrocuenca



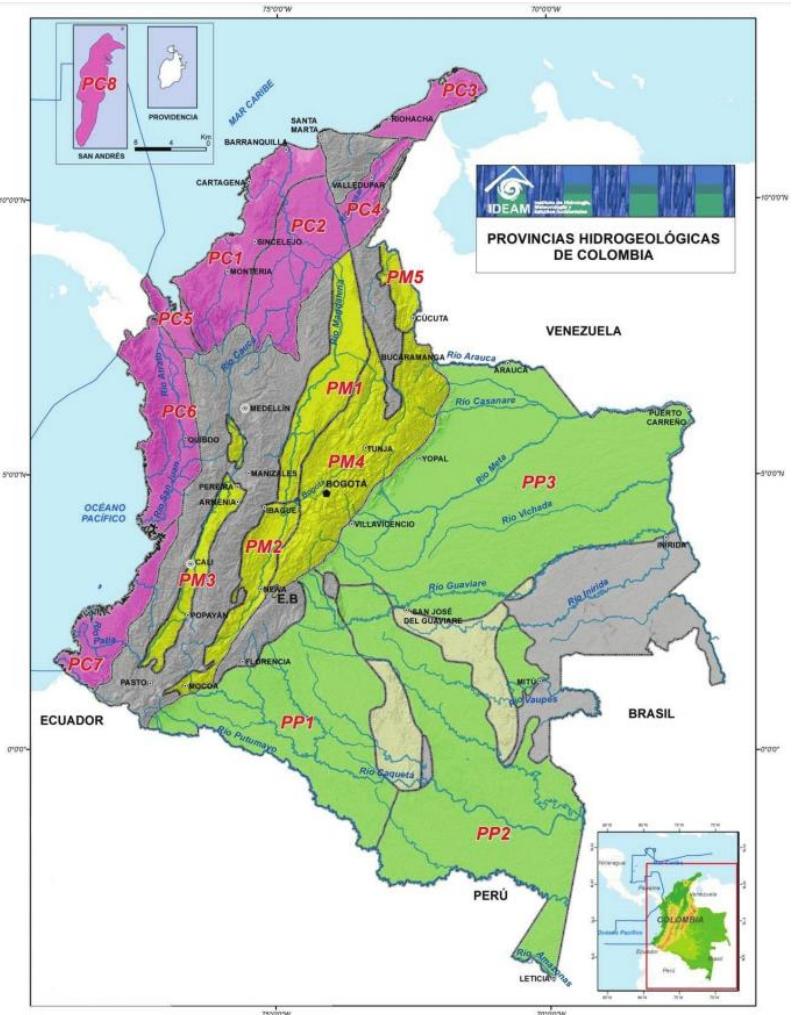
Colombian Rivers

Data Source - Hydrosheds
@PythonMaps

Sources: Esri, DeLorme, USGS, NPS; Sources: Esri, USGS, NOAA



Se han identificado en total 16 provincias hidrogeológicas, las cuales cubren el 74% de la extensión total del territorio nacional. Sin embargo, el 51% de esta superficie corresponde a las cuencas de la Orinoquía (Llanos Orientales), la Amazonía (Vaupés-Amazonas y Caguán-Putumayo) y la costa pacífica (Tumaco y Chocó).



PROVINCIAS HIDROGEOLÓGICAS DE COLOMBIA

MONTANAS E INTRAMONTANAS

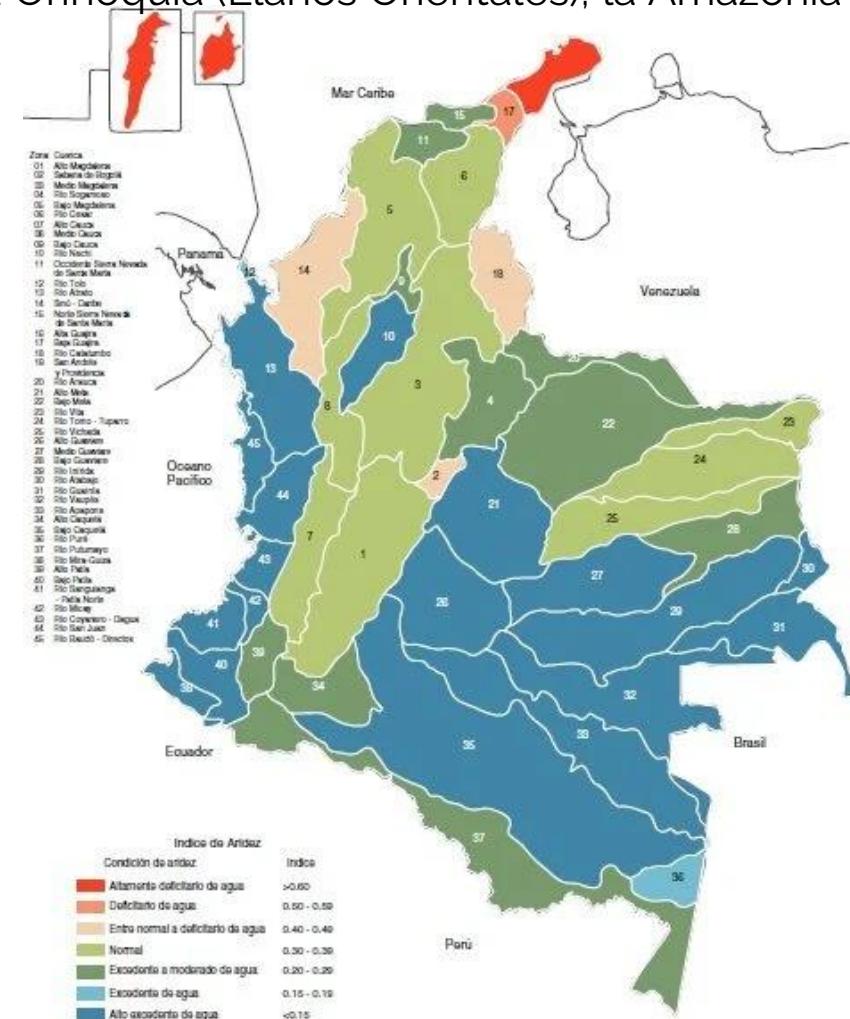
PM1	Valle Medio del Magdalena
PM2	Valle Alto del Magdalena
PM3	Cauca Patia
PM4	Cordillera Oriental
PM5	Catatumbo

COSTERAS

PC1	Sinú - San Jacinto
PC2	Valle Bajo del Magdalena
PC3	Guajira
PC4	César - Ranchería
PC5	Urabá
PC6	Chocó
PC7	Tumaco
PC8	Isla de San Andrés

PERICRATÓNICAS

PP1	Caguán - Putumayo
PP2	Vaupés - Amazonas
PP3	Llanos Orientales



Escala: 1:8'000.000

Fuente: Ideam, 2000



THE KEY QUESTION:

WHY RIVERS FLOW WHEN IT DOES NOT RAIN?



El agua subterránea y el agua superficial interactúan a lo largo del paisaje, como se muestra en el dibujo adyacente. El paisaje conceptual muestra, de manera simplificada, la interacción del agua subterránea con todos los tipos de agua superficial, como arroyos, lagos y humedales, en muchos terrenos diferentes, desde las montañas hasta los océanos.

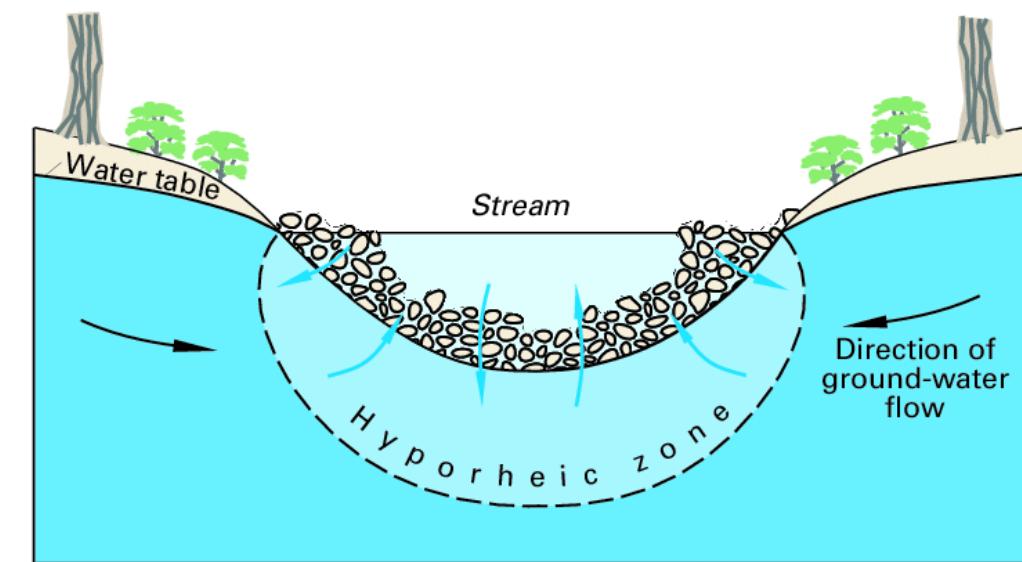
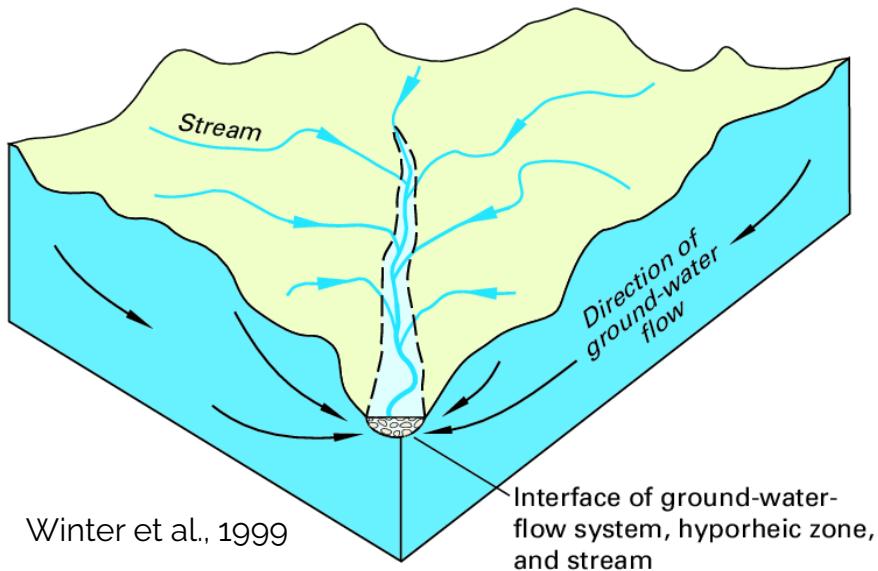


Según Jackson et al. (2001) y Fleckenstein et al. (2010) tradicionalmente las aguas subterráneas y superficiales han sido tratadas como entes diferentes, tanto científica como legalmente, debido a la perspectiva espacial y temporal del flujo.

Entender la interacción GW-SW es importante para la sustentabilidad de los recursos hídricos ya que de ésta depende la recarga-descarga (Sophocleous, 2002), la regulación de la temperatura del río (Irvine et al., 2024), la biogeoquímica (Brunke y Gonser, 1997), ecología (Hayashi y Rosenberry, 2002), concentraciones de contaminantes (Kalbus et al., 2006), suministro de agua (Changming et al., 2001), salinidad (Jolly et al., 2008) y calidad del agua (Harvey y Bencala, 1993) de un sistema hidrológico.



Según Tóth (1999) y Sophocleous (2002) las interacciones GW-SW son complejas y para entenderlas hay que combinar diferentes factores como climáticos, edáficos, geológicos, topográficos, bióticos y de usos del suelo. Las características hidráulicas del intercambio de flujo GW-SW en un sistema dependen en gran medida del nivel freático, nivel de agua en el río, espesor y granulometría del lecho del río (Domenico, 1972; Winter et al., 1999; Kalbus et al., 2006; Jolly et al., 2008).





Los ríos interactúan con el agua subterránea de tres maneras:

1. Los ríos ganan agua a través de la entrada de agua subterránea por el lecho del río (río ganador).
2. Pierden agua hacia el agua subterránea por flujo de salida a través del lecho del río (río perdedor)
3. Hacen ambas cosas, ganando en algunos tramos y perdiendo en otros.

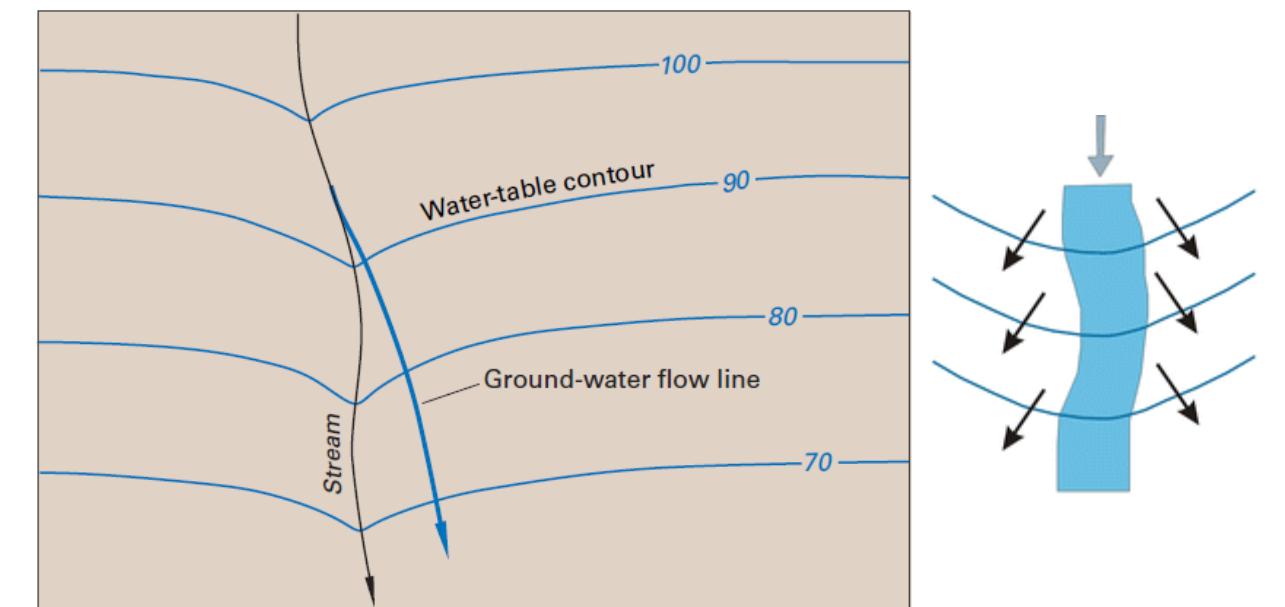
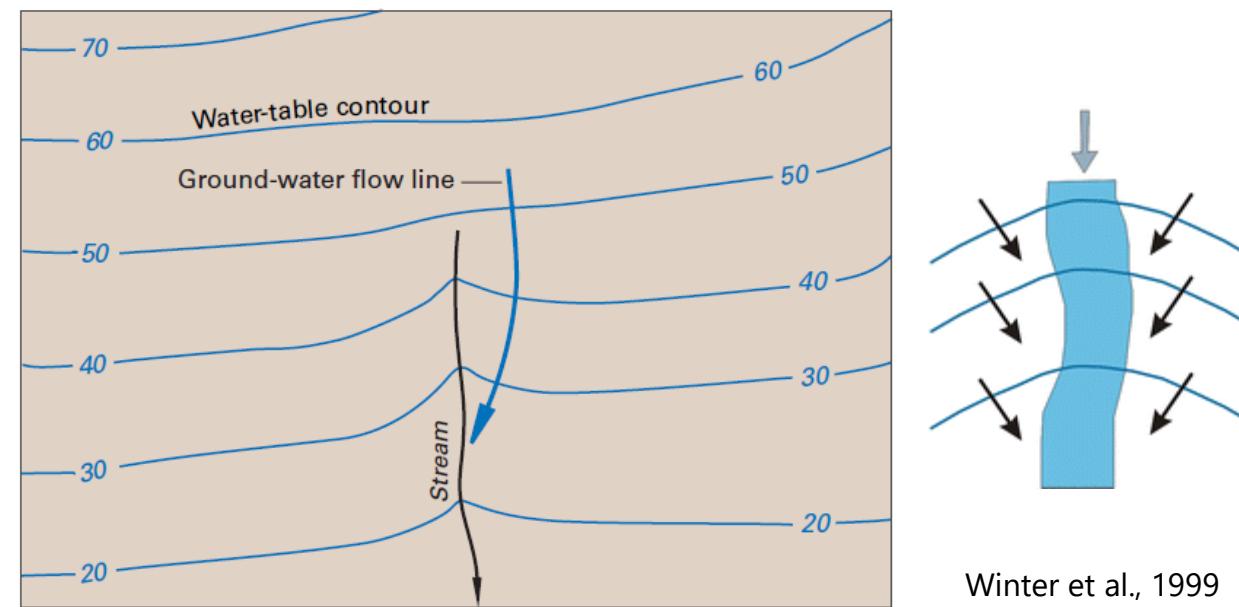


Descarga Acuífero-Río
Río Ganador



Recarga Río-Acuífero
Río Perdedor

Winter et al., 1999





Unidad 1. Balance hídrico e introducción a las características del flujo entre las aguas subterráneas y superficiales (interacciones acuífero-río-planicie inundable)

PRE FLOOD



Winter et al., 1999

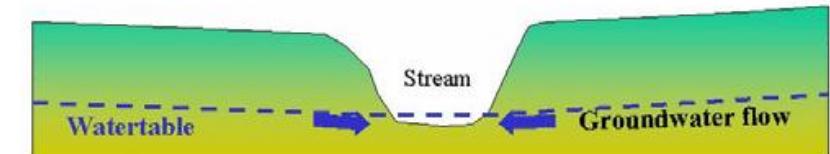
Superficie del terreno
Planicie de inundación



b. Almacenamiento en banco

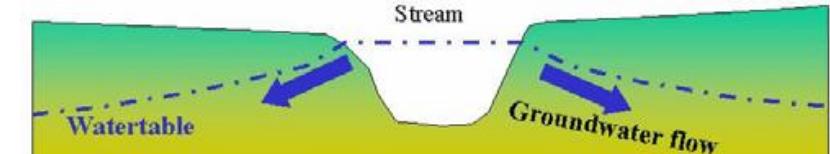


c. Almacenamiento sobre la planicie de inundación

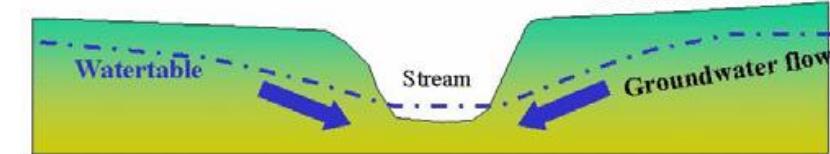


Hocking et al., 2005

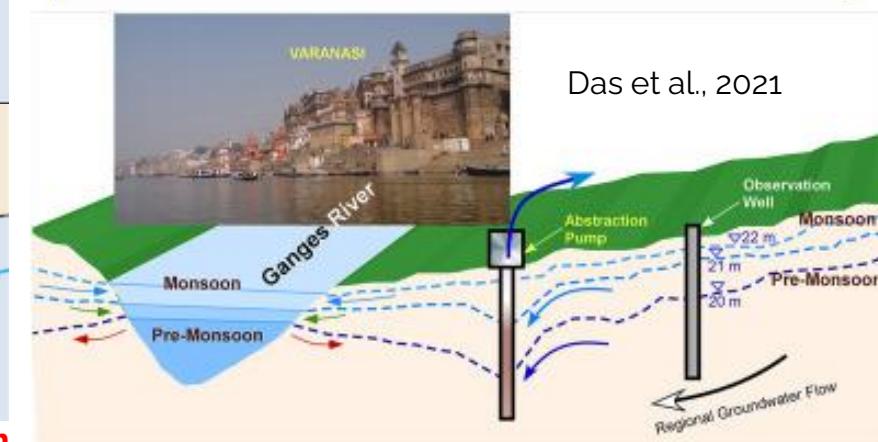
PEAK FLOOD



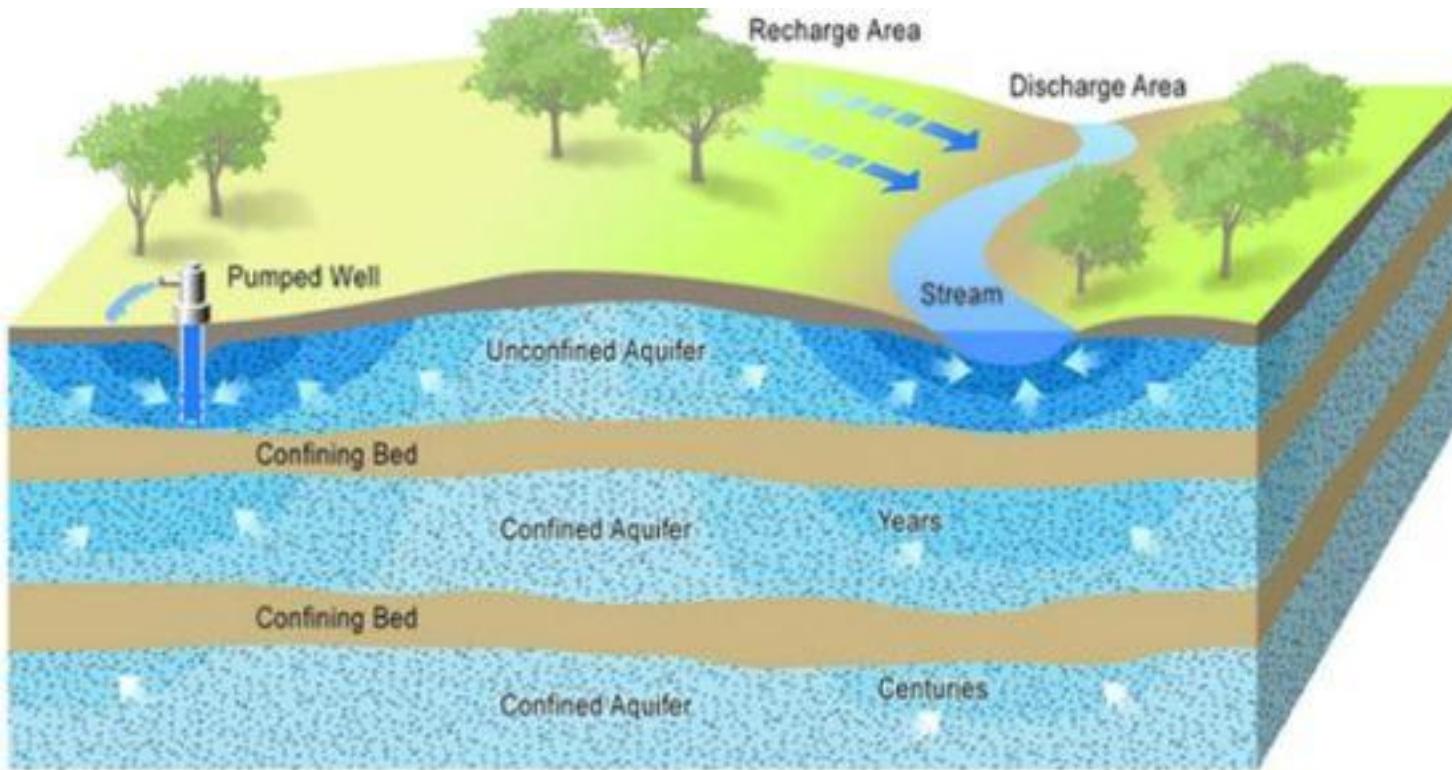
POST FLOOD



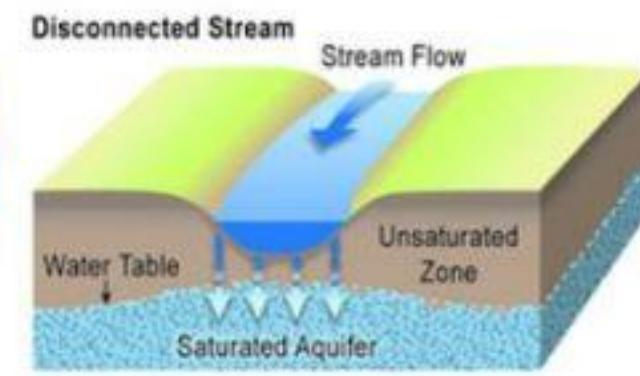
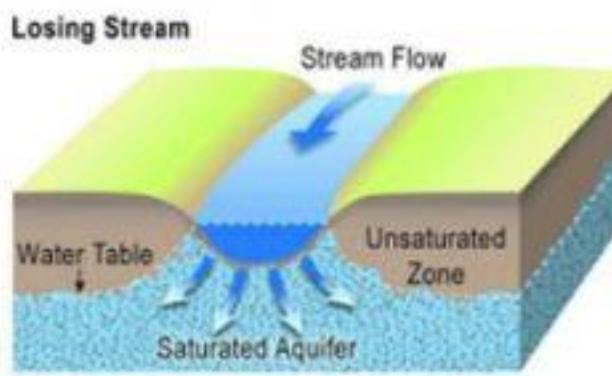
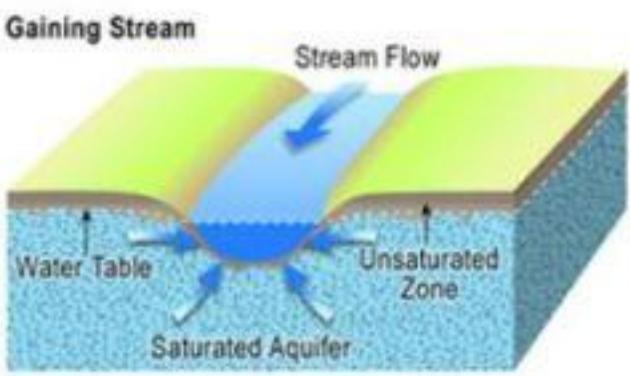
Das et al., 2021



Aumentos en el nivel del río pueden causar que la dirección del flujo a través del lecho del río se invierta y conduzca a almacenamiento en el banco (b) y a la recarga de agua subterránea en toda el área inundada o planicie de inundación (c).



a





Caso práctico Real



<https://livingatlas.arcgis.com/waterbalance/>

The Water Balance App | Click anywhere on earth to see how the water balance is changing over time ?

Beaufort

Soil Moisture

UNITED STATES
CANADA
UNITED STATES
MEXICO
VENEZUELA
COLOMBIA
PERU
BOLIVIA
BRAZIL
ARGENTINA
SOUTH PACIFIC OCEAN
EAST PACIFIC RISE
PERU BASIN
SOUTH ATLANTIC OCEAN
Gulf of Alaska
Hudson Bay
Davis Strait
LABRADOR BASIN
NORTH AMERICAN BASIN
Caribbean Sea
Sargasso Sea
NORTH PACIFIC OCEAN
NORTH ATLANTIC OCEAN
Norwegian Sea
SWEDEN FINLAND
NORWAY
UNITED KINGDOM
POLAND GERMANY
FRANCE
SPAIN
ITALY
GREECE
TURKEY
ALGERIA LIBYA EGYPT
SAHARA DESERT
MALI NIGER CHAD
NIGERIA
DR CONGO
ETHIOPIA
TANZANIA
ANGOLA ZAMBIA
NAMIBIA
SOUTH AFRICA
INDIAN OCEAN
MID-INDIAN BASIN
WHARTON BASIN
GOBI DESERT
KAZAKHSTAN
CHINA
INDIA
BURMA
HIMALAYA
MONGOLIA
INDONESIA
SOUTH PACIFIC OCEAN
EAST PACIFIC RISE
PERU BASIN
SOUTH ATLANTIC OCEAN
Gulf of Alaska
Hudson Bay
Davis Strait
LABRADOR BASIN
NORTH AMERICAN BASIN
Caribbean Sea
Sargasso Sea
NORTH PACIFIC OCEAN
NORTH ATLANTIC OCEAN
Norwegian Sea
SWEDEN FINLAND
NORWAY
UNITED KINGDOM
POLAND GERMANY
FRANCE
SPAIN
ITALY
GREECE
TURKEY
ALGERIA LIBYA EGYPT
SAHARA DESERT
MALI NIGER CHAD
NIGERIA
DR CONGO
ETHIOPIA
TANZANIA
ANGOLA ZAMBIA
NAMIBIA
SOUTH AFRICA
INDIAN OCEAN
MID-INDIAN BASIN
WHARTON BASIN
GOBI DESERT
KAZAKHSTAN
CHINA
INDIA
BURMA
HIMALAYA
MONGOLIA
INDONESIA



Caso de estudio – Ejercicio práctico 1

Una pequeña cuenca hidrográfica (3.5 km^2) está formada por un arroyo con pendiente en ambos lados, y ambas laderas tienen la misma superficie.

El 45 % de la precipitación efectiva se escurre por la superficie de la ladera, y el resto se infiltra en el agua subterránea y fluye hacia el arroyo. Debido a una capa de arcilla en el subsuelo de la ladera derecha, solo el 30 % de la escorrentía infiltrada en dicha ladera fluye hacia el arroyo.

La precipitación anual es de 1.000 mm/año y la evaporación anual es de 900 mm/año.

- ¿Cuál es la escorrentía anual de la superficie de ambas laderas?
- ¿Cuál es la escorrentía anual total de la pendiente de la ladera derecha?
- ¿Cuál es la escorrentía anual total del arroyo?



Datos

- Área de la cuenca: $A = 3,5 \text{ km}^2 = 3,5 \times 10^6 \text{ m}^2$.
- Dos laderas con la **misma** superficie $\Rightarrow A_{\text{ladera}} = 1,75 \text{ km}^2$ cada una.
- Precipitación anual: $P = 1000 \text{ mm/año}$.
- Evaporación anual: $E = 900 \text{ mm/año}$.
- Precipitación efectiva: $P_e = P - E = 100 \text{ mm/año}$.
- De P_e :
 - 45% es **escorrentía superficial** en ladera $\Rightarrow 45 \text{ mm}$.
 - 55% **infiltbra** $\Rightarrow 55 \text{ mm}$.
 - Ladera derecha: **solo** 30% de lo infiltrado llega al arroyo.

¿Cuál es la escorrentía anual de la superficie de ambas laderas?

$$Q_{\text{surface}} = 0.45 \cdot A \cdot (P - E)$$

$$= 0.45 \cdot 3.5 \cdot 10^6 \cdot (1000 - 900) \cdot 10^{-3} = 157,500 \text{ m}^3/\text{year}$$



b) ¿Cuál es la escorrentía anual total de la pendiente de la derecha?

$$Q_{right} = 0.5 \cdot (Q_{surface} + 0.55 \cdot 0.3 \cdot A \cdot (P - E))$$

$$= 0.5 \cdot (157,500 + 0.55 \cdot 0.3 \cdot 3.5 \cdot 10^6 \cdot (1000 - 900) \cdot 10^{-3}) = 107,625 \text{ m}^3/\text{year}$$

¿Cuál es el caudal anual total del arroyo?

$$Q_{total} = Q_{right} + 0.5 \cdot A \cdot (P - E)$$

$$107,625 + 0.5 \cdot 3.5 \cdot 10^6 \cdot (1000 - 900) \cdot 10^{-3} = 282,625 \text{ m}^3/\text{year}$$



Caso de estudio – Ejercicio práctico 2

Se han recopilado los siguientes datos para una cuenca hidrográfica:

Precipitación media anual = 1000 mm/año = 1 m/año

Evaporación media anual = 500 mm/año = 0,5 m/año

Área = 80 km²

a) **¿Cuál es el caudal anual total de la cuenca hidrográfica?**

En el período invernal (180 días), se produce la mitad de la precipitación anual y el 30 % de la evaporación. Durante este período, el almacenamiento aumentó en 10 cm.

b) **¿Cuál es el caudal medio en el período invernal?**



a) ¿Cuál es el caudal anual total de la cuenca hidrográfica?

$$Q = A \cdot (P - E) = (80 \cdot 10^6) \cdot (1 - 0.5) = 40 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$$

$$P = 500 \text{ mm}/180 \text{ days} = 0.5 \text{ m}/180 \text{ days}$$

$$E = 0.3 \cdot 500 = 150 \text{ mm}/180 \text{ days} = 0.15 \text{ m}/180 \text{ days}$$

$$\frac{dS}{dt} = 10 \text{ cm}/180 \text{ days} = 0.10 \text{ m}/180 \text{ days}$$

Del balance hídrico se desprende que:

$$Q = A \cdot (P - E - dS/dt)$$

$$Q = (80 \cdot 10^6) \cdot (0.5 - 0.15 - 0.10) = 20 \cdot 10^6 \text{ m}^3/180 \text{ days}$$

$$Q = \frac{20 \cdot 10^6}{(180 \cdot 24 \cdot 3600)} = 1.29 \text{ m}^3/\text{s}$$

b) ¿Cuál es el caudal medio en el periodo invernal?

