

# Programa Diploma “Derechos de Agua, Medio Ambiente y Cambio Climático”

## Ciclo del agua

**Dra. Alejandra Stehr Gesche**  
**Académica del la Facultad de Ingeniería**  
**Universidad de Concepción**



# Contenidos

- ▶ ¿Por qué estudiamos el ciclo del agua?
- ▶ Como se distribuye el agua en la Tierra
- ▶ Ciclo hidrológico
- ▶ Balance hídrico obtención
- ▶ Balance hídrico nacional

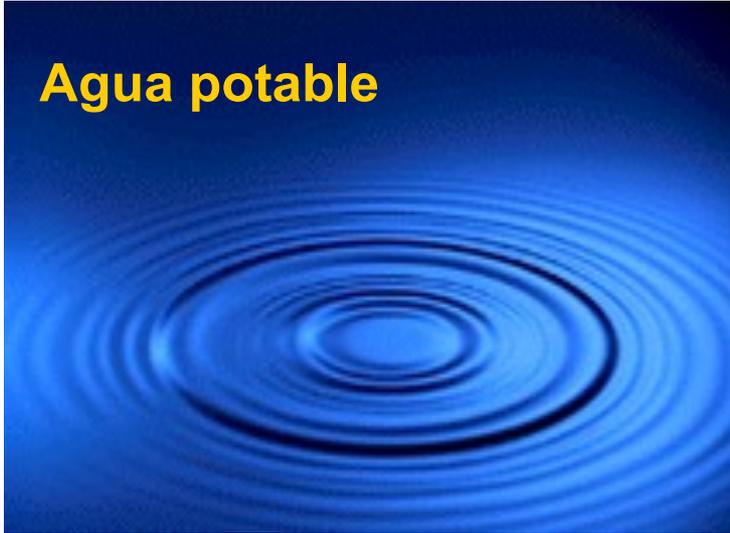
# ¿Por qué estudiamos el ciclo del agua?

- ▶ El agua es esencial para la vida.
- ▶ Durante las últimas cinco décadas se ha producido un notable crecimiento en el consumo de agua debido al aumento explosivo de la población mundial, combinado con un desarrollo económico sin precedentes
- ▶ Los cambios en el uso del suelo y el clima introducen una complejidad adicional al proceso de gestión.



# ¿Por qué estudiamos el ciclo del agua?

**Agua potable**



**Conservación  
de biodiversidad**



**Piscicultura**

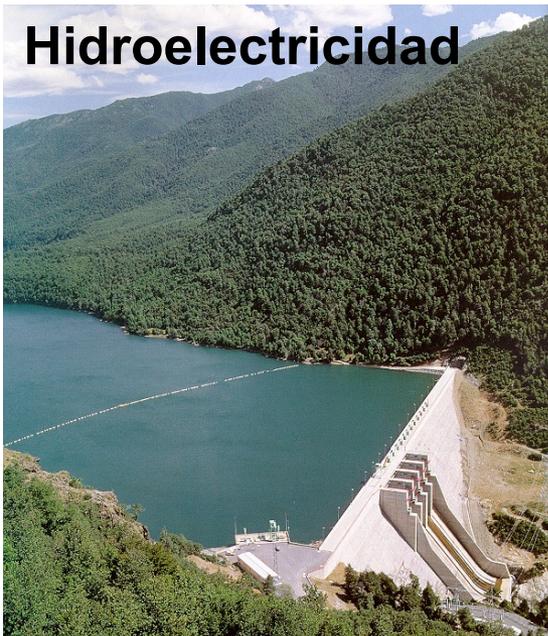


**Recreación y turismo**



# ¿Por qué estudiamos el ciclo del agua?

**Hidroelectricidad**



**Industria**



**Riego**



**Receptor efluentes**



# ¿Por qué estudiamos el ciclo del agua?



# ¿Por qué estudiamos el ciclo del agua?



# Conocimiento de los sistemas hídricos es clave

- Para la planificación de sectores claves de la economía del país:
  - ✓ La Agricultura
  - ✓ La Silvicultura
  - ✓ La Minería
  - ✓ La generación de Energía
  - ✓ La salud de la población
  - ✓ Desarrollo de la infraestructura
- Cuyo crecimiento esta condicionado a las opciones de adaptación posibles en los escenarios hidrológicos proyectados .



# ¿Dónde encontramos agua?

## Agua atmosférica

- Típicamente vapor de agua, pero también puede estar en estado líquido o sólido.

## Agua superficial

- Agua almacenada en lagunas, lagos y ríos

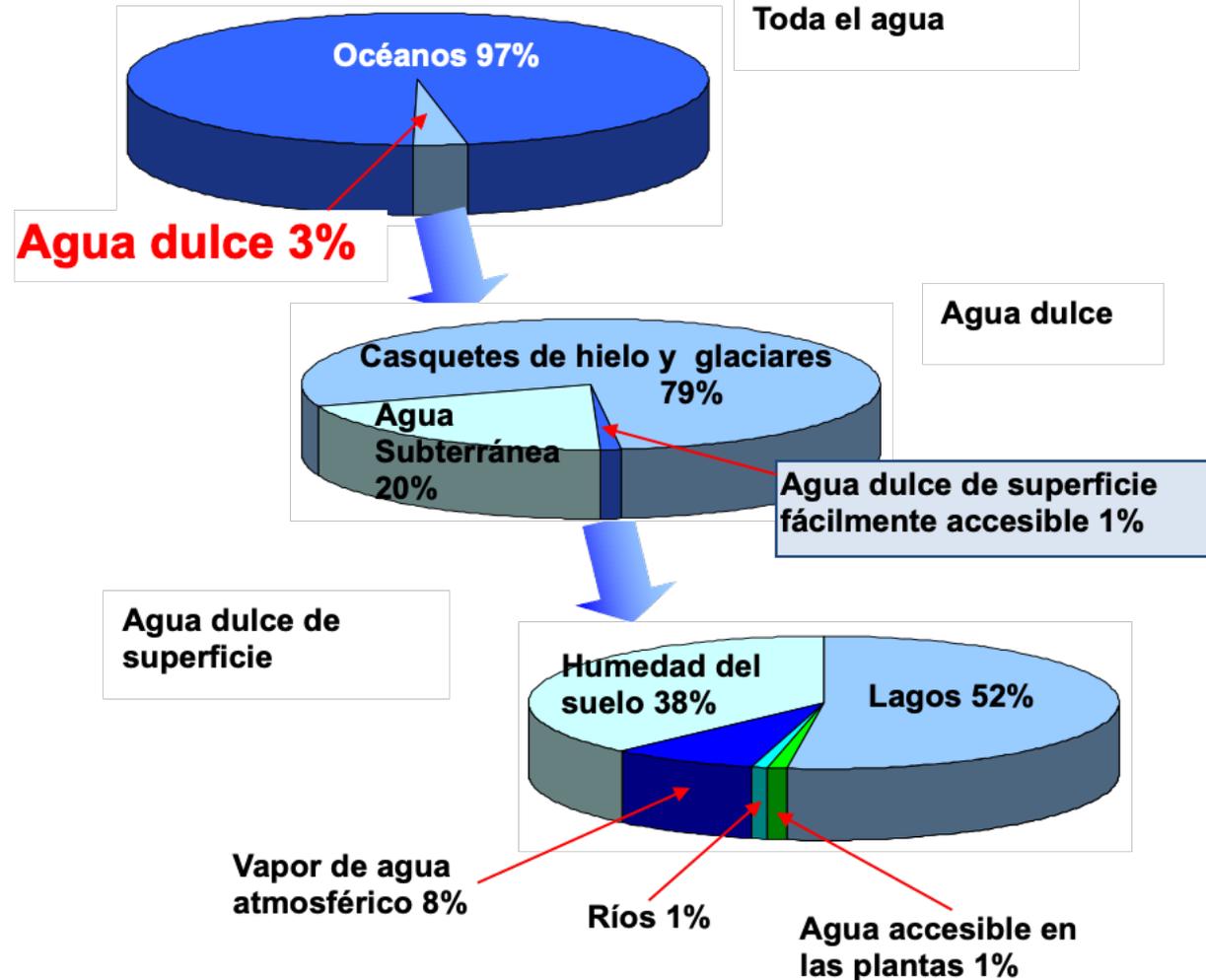
## Agua subterránea

- Agua por debajo del nivel freático, bajo este nivel se denomina zona saturada

## Agua en el suelo

- Es el agua contenida en el suelo, pero donde no está saturado, sobre el nivel freático.

# Como se distribuye el agua en la Tierra



El agua es el elemento esencial para la sobrevivencia y el desarrollo de los seres **humanos** y de los **ecosistemas**.

# Ciclo hidrológico

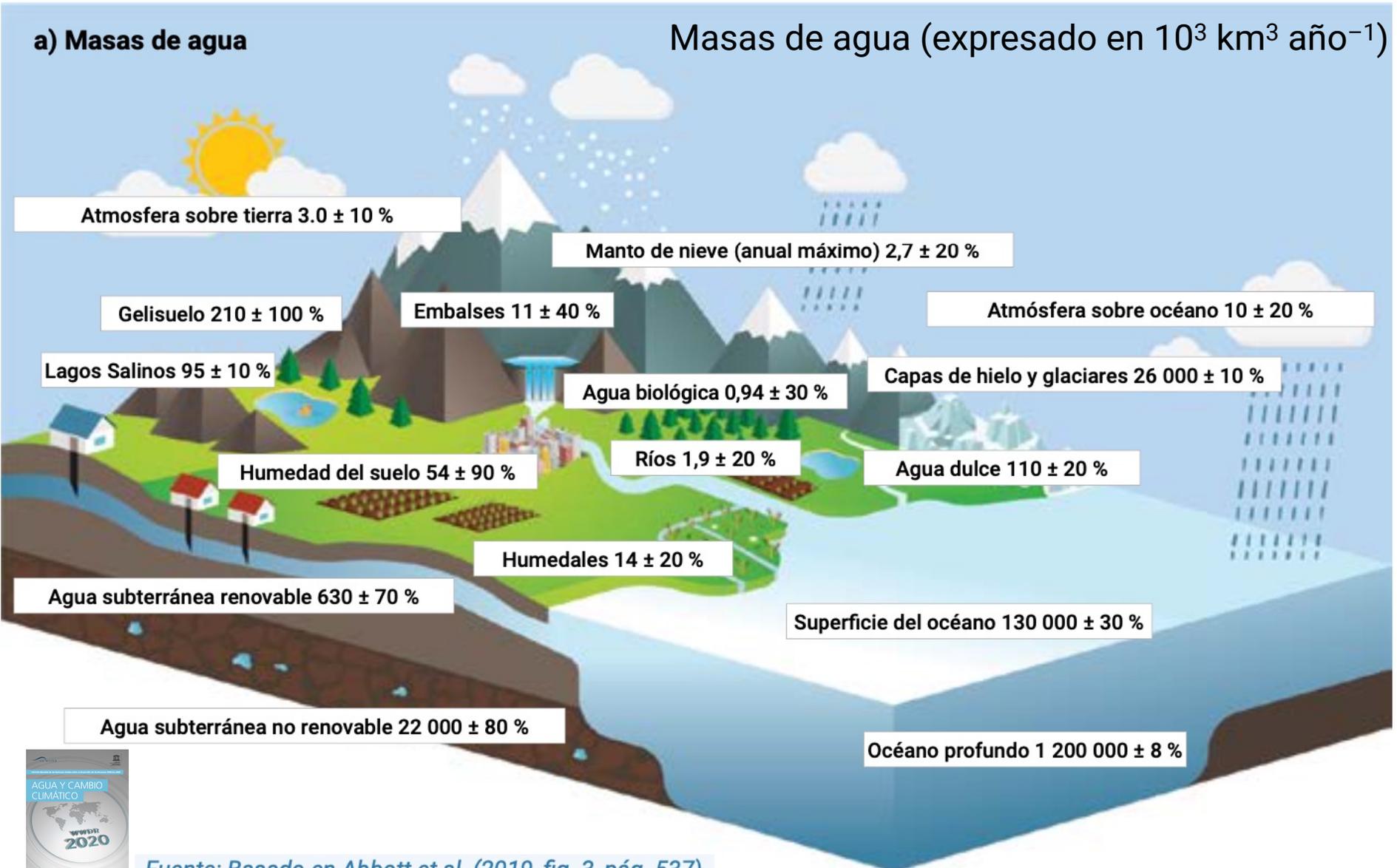
Idealización del movimiento, distribución y circulación del agua en la Tierra, entre la atmósfera-litósfera-hidrosfera y nuevamente a la atmósfera.



# Ciclo hidrológico

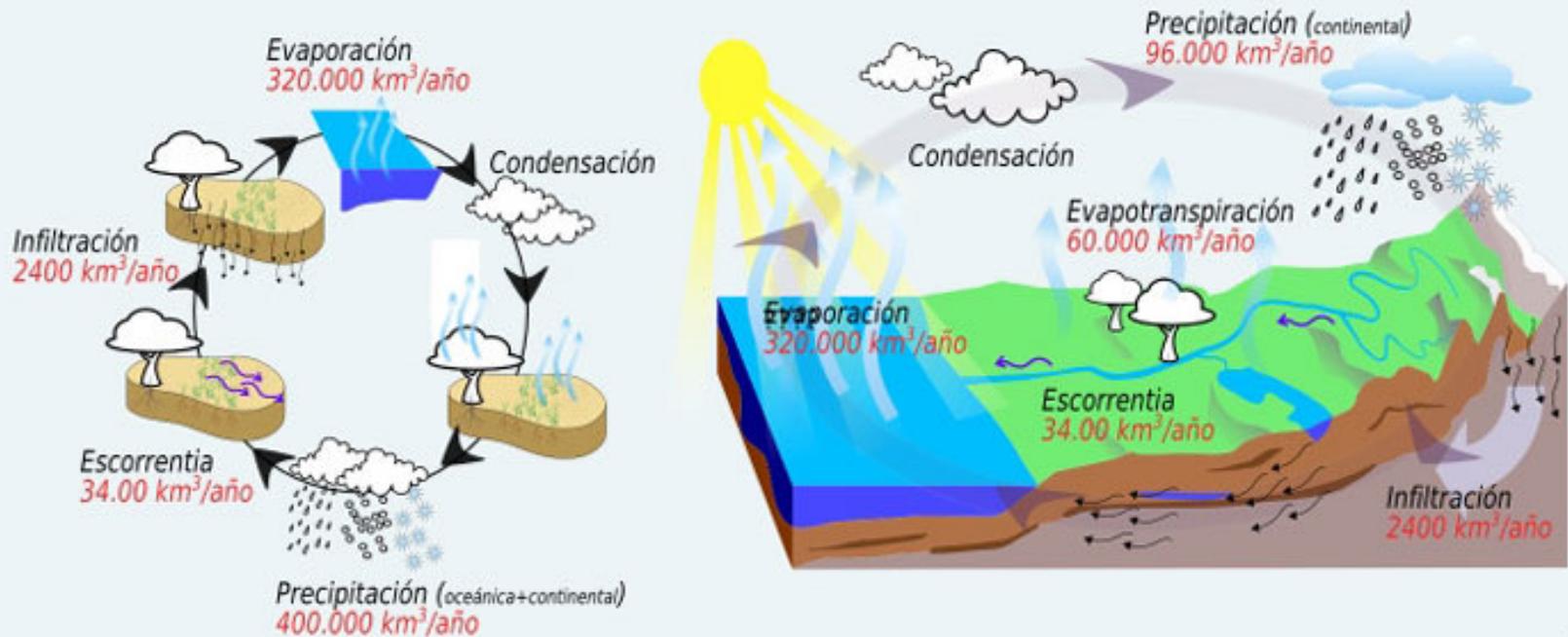
## a) Masas de agua

Masas de agua (expresado en  $10^3 \text{ km}^3 \text{ año}^{-1}$ )



Fuente: Basado en Abbott et al. (2019, fig. 3, pág. 537).

# Ciclo hidrológico

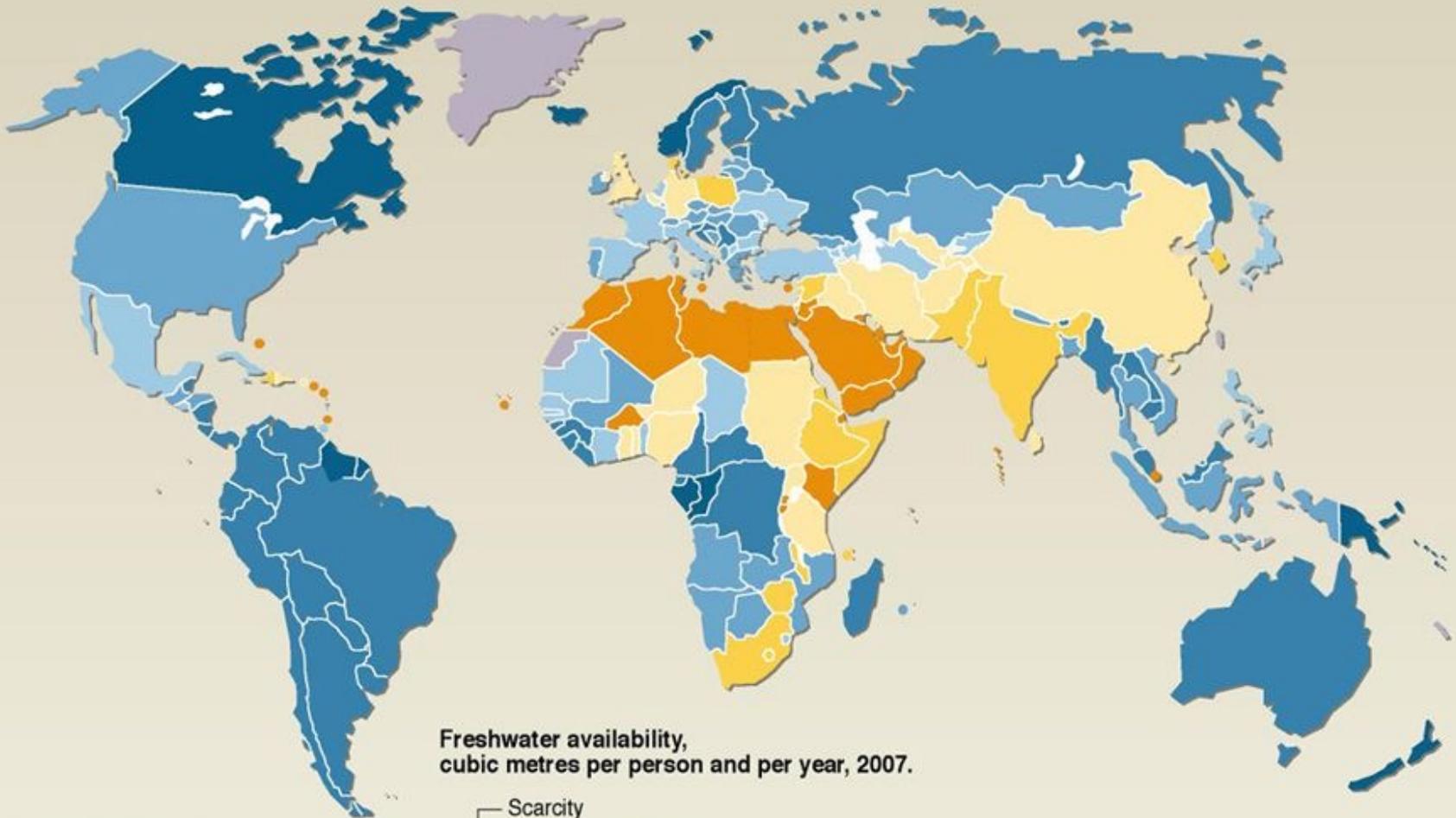


# Ciclo hidrológico

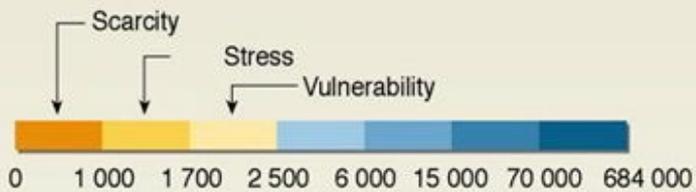
## DISTRIBUCIÓN DEL AGUA POR CONTINENTES

CONTINENTE	%
AMÉRICA DEL SUR	20.9
AMÉRICA DEL NORTE	10.3
ASIA	9.9
AUSTRALIA Y OCEANIA	9.9
EUROPA	9.7
ANTÁRTICO	5.2
ÁFRICA	4.5
ÁFRICA S/SAHARA aprox.	7
TOTAL	100.0

Fuente: Balance Hídrico Mundial (UNESCO)



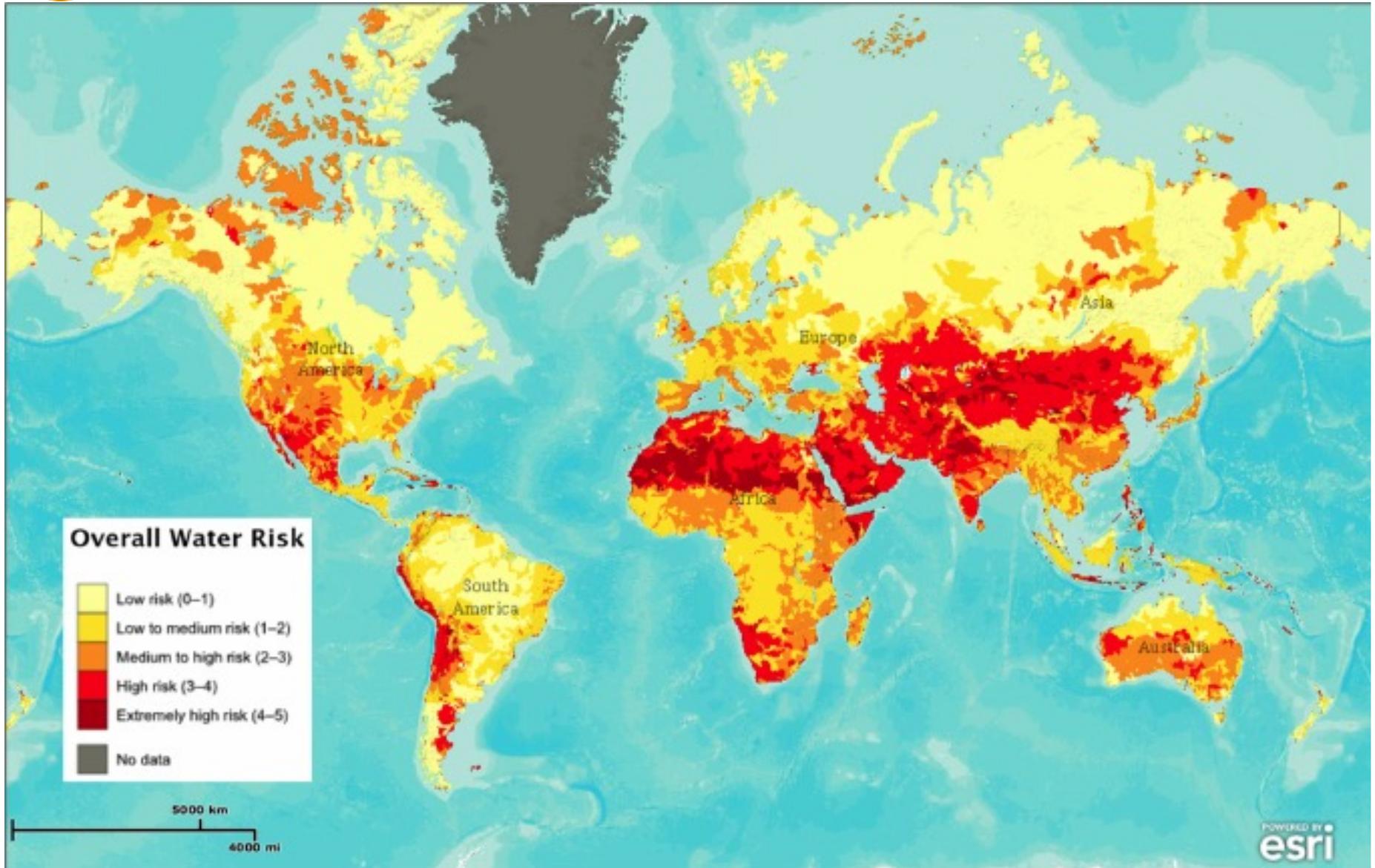
Freshwater availability,  
cubic metres per person and per year, 2007.



Data non available

Source: FAO, Nations unies,  
World Resources Institute (WRI).

PHILIPPE REKACEWICZ  
FEBRUARY 2008



# Ciclo hidrológico

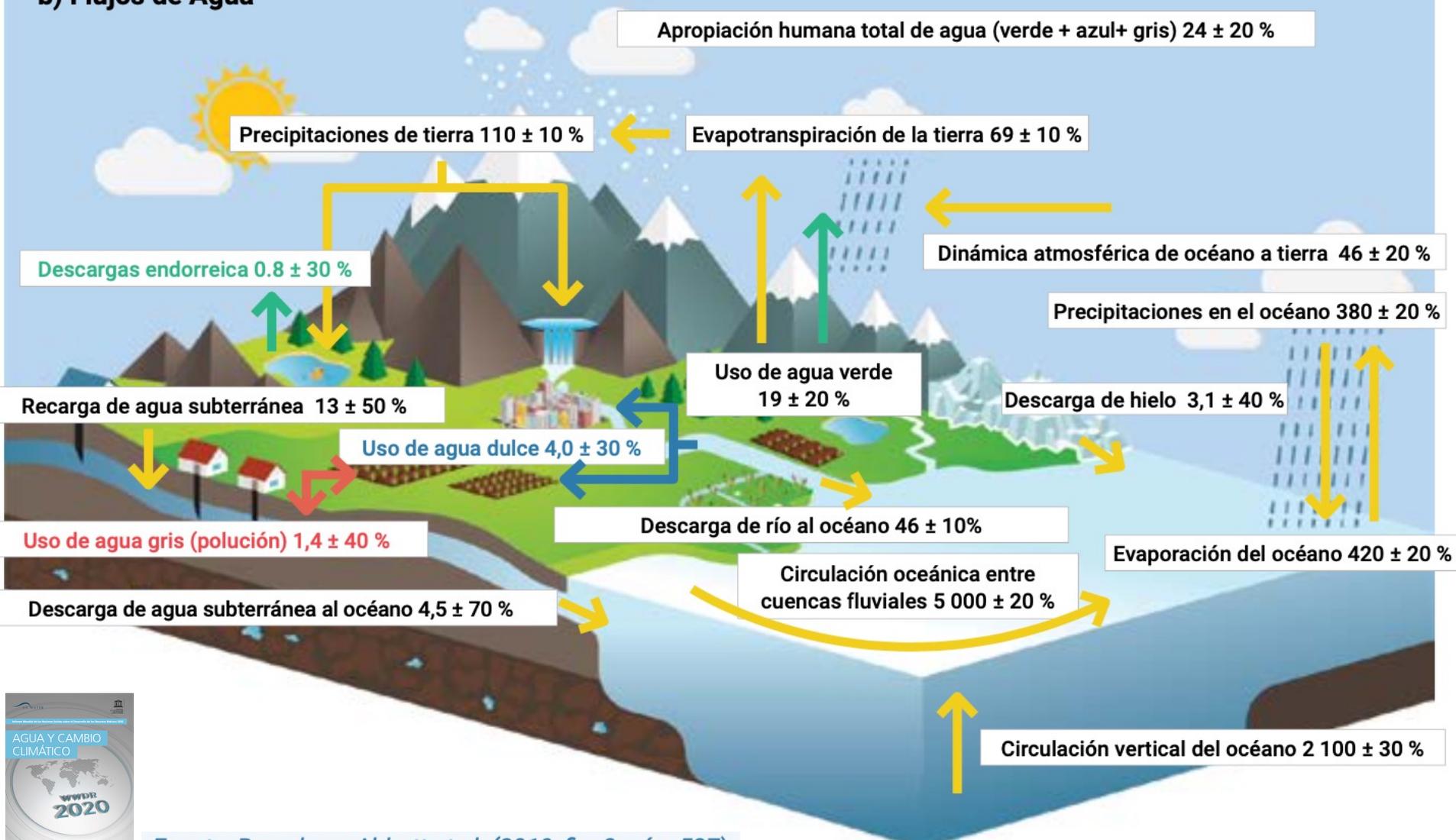
- ✓ La Hidrología estudia y evalúa científicamente cada una de las partes y las interrelaciones de los distintos procesos que componen el ciclo hidrológico.
- ✓ Ciclo Hidrológico es un proceso continuo desde punto de vista global pero localmente contiene elementos de azar y variaciones no continuas (ejemplo: precipitación)

# Ciclo hidrológico

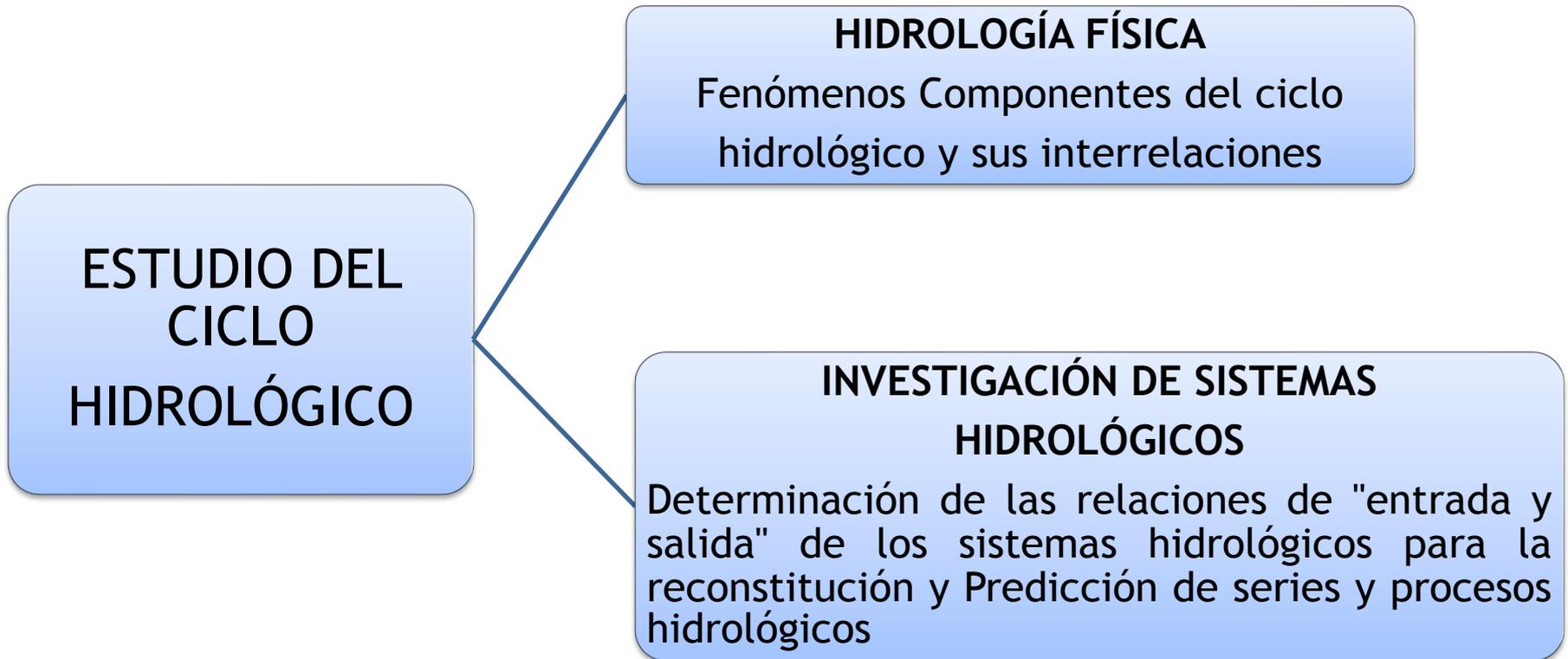
## b) Flujos de Agua

Flujos de agua (expresado en  $10^3 \text{ km}^3 \text{ año}^{-1}$ )

Apropiación humana total de agua (verde + azul + gris)  $24 \pm 20 \%$



# Ciclo hidrológico

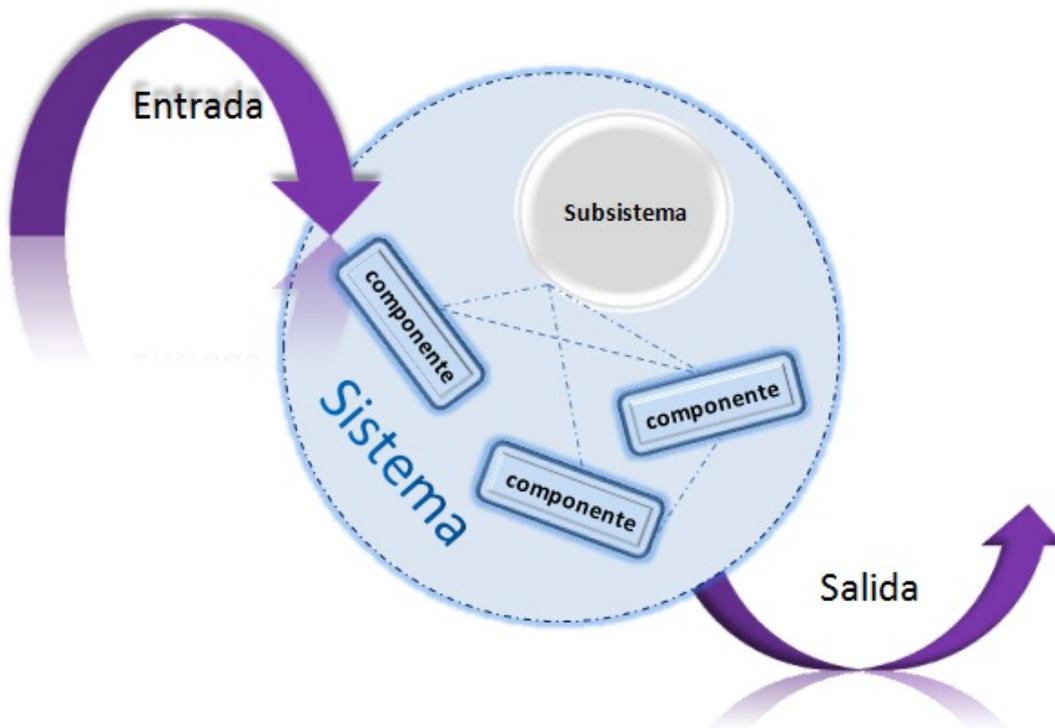


# Ciclo hidrológico



# Ciclo hidrológico

## Sistema



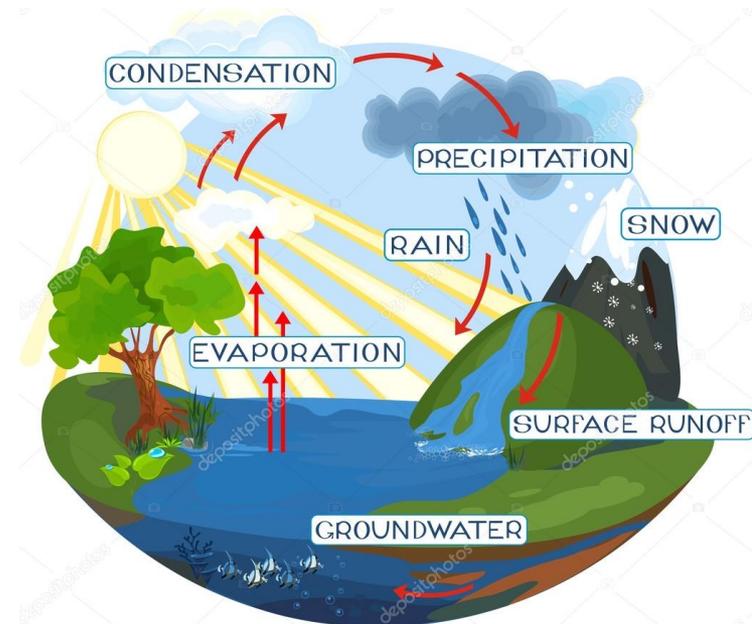
Un **sistema** es un conjunto de partes interconectadas que forman un todo.

# Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico = precipitación, evaporación, escorrentía y otras fases.

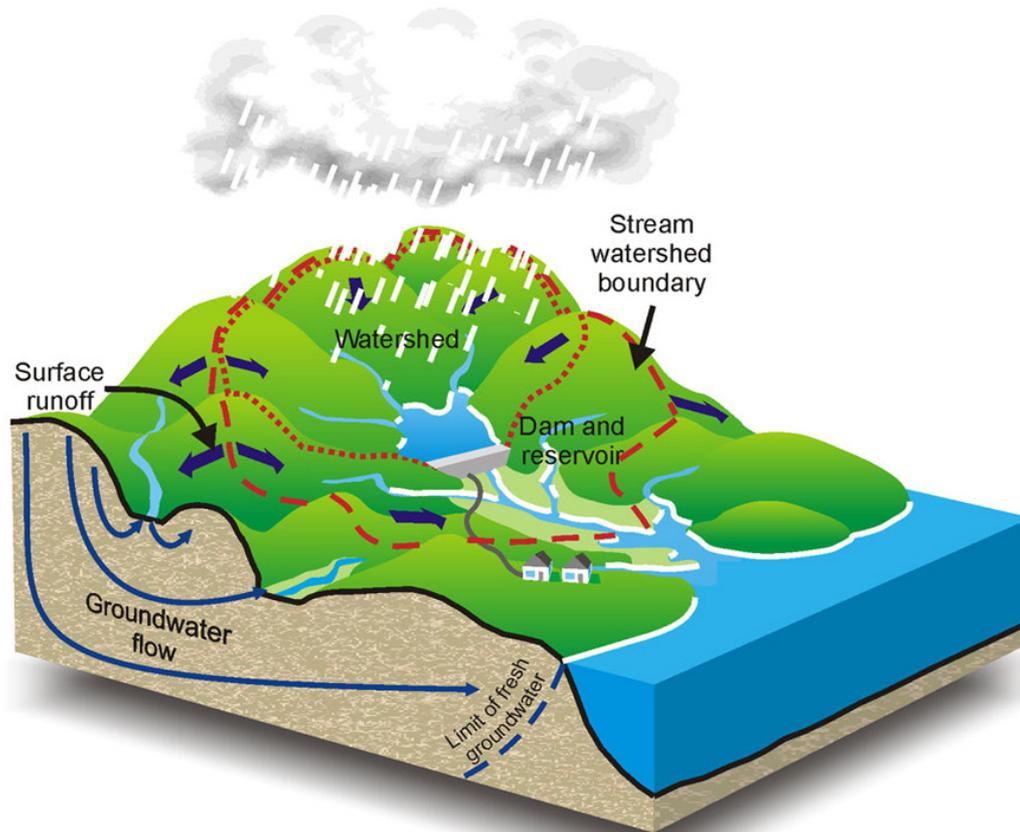
El ciclo de manera global puede subdividirse en subsistemas:

- ✓ Subsistema de agua atmosférica, que contiene los procesos de precipitación, evaporación, intercepción y transpiración
- ✓ Subsistema de agua superficial, contiene los procesos de flujo superficial, escorrentía superficial, nacimientos de agua subsuperficial y subterránea y escorrentía hacia ríos y océanos.



# ¿Qué es una Cuenca hidrográfica?

Entonces: *cuenca hidrográfica* = sistema hidrológico



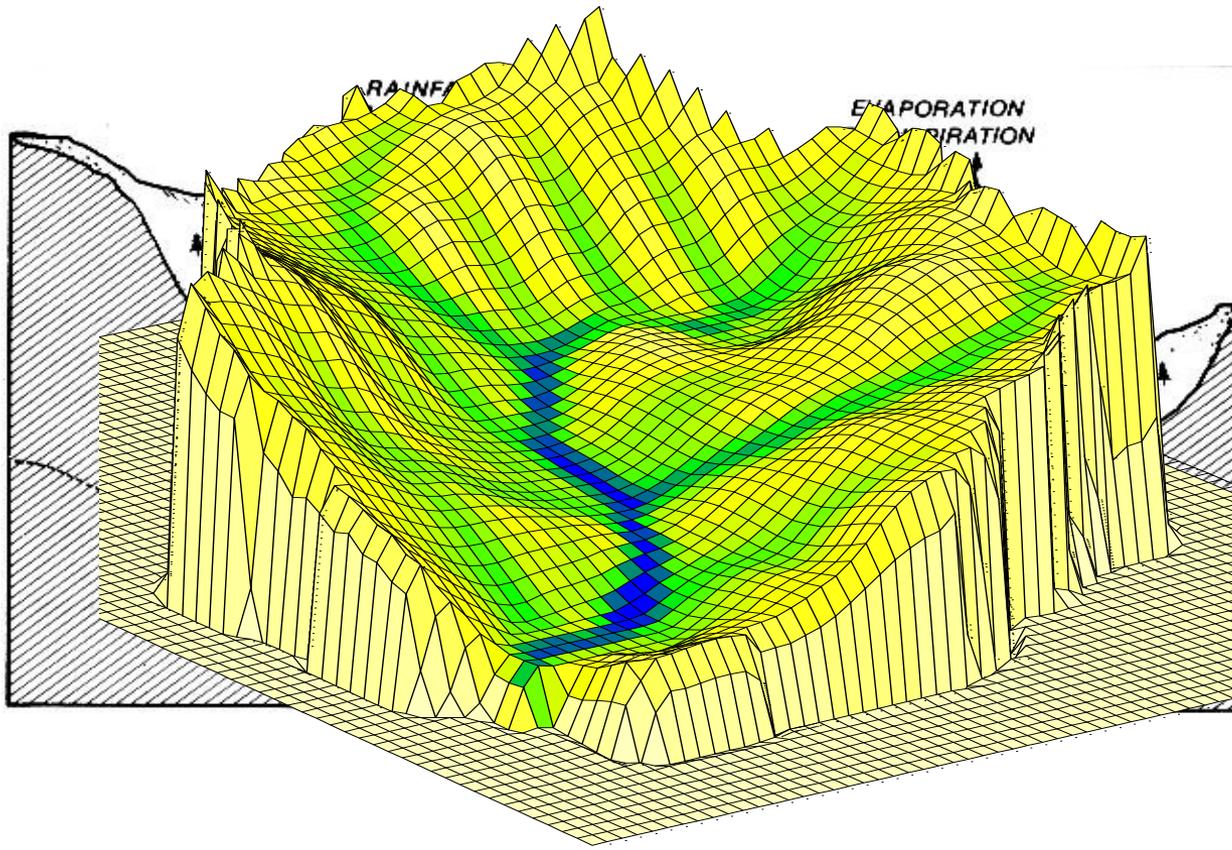
## Cuenca de drenaje:

Aquella porción de la superficie terrestre que colecta las aguas de la precipitación y las concentra en un punto dado a lo largo de un cauce

Definida sólo por la topografía

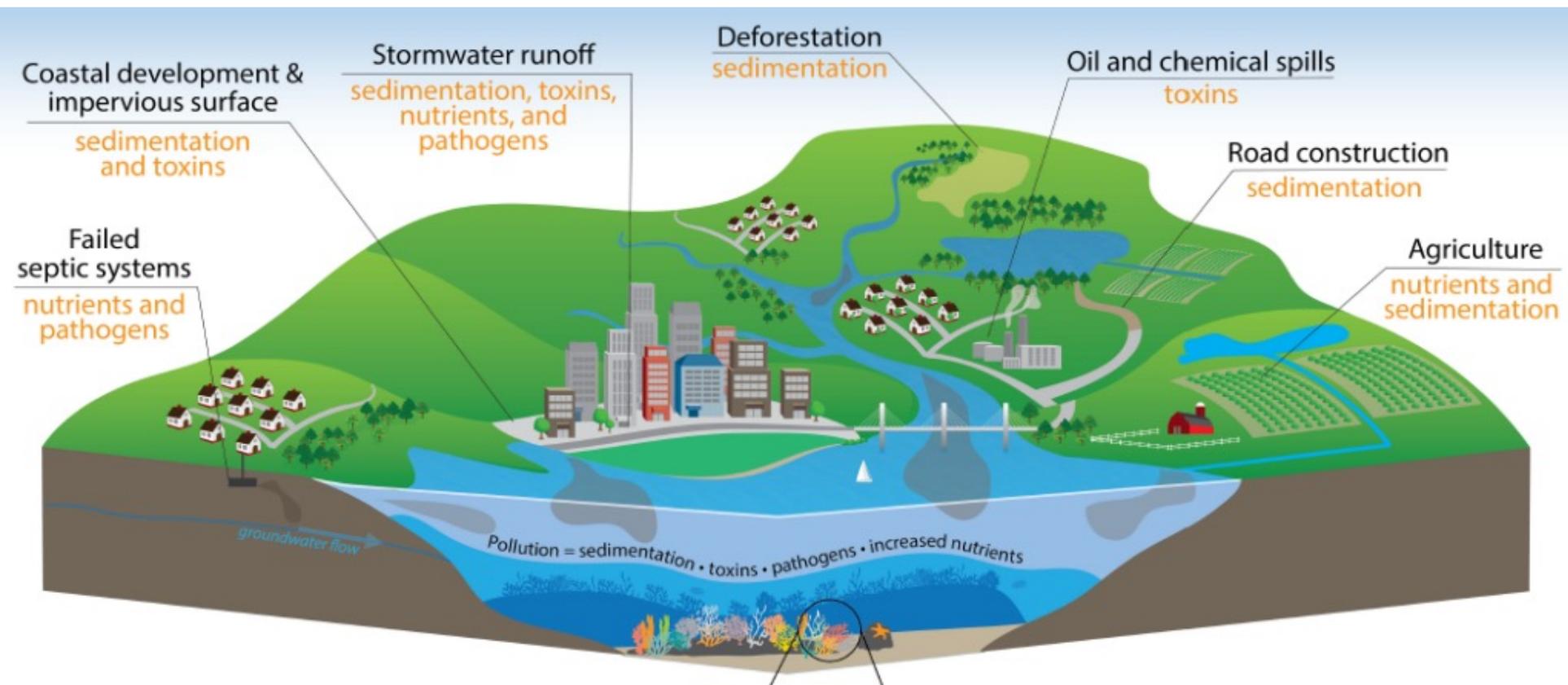
# El sistema de la Cuenca Hidrográfica

El sistema más comúnmente estudiado en hidrología es la cuenca de drenaje: “unidad básica, definida topográficamente y drenada por un sistema de cauces superficiales de tal manera que toda la escorrentía que se genera en la superficie encerrada por la línea divisoria de las aguas, se descarga a través de una salida única e identificable”



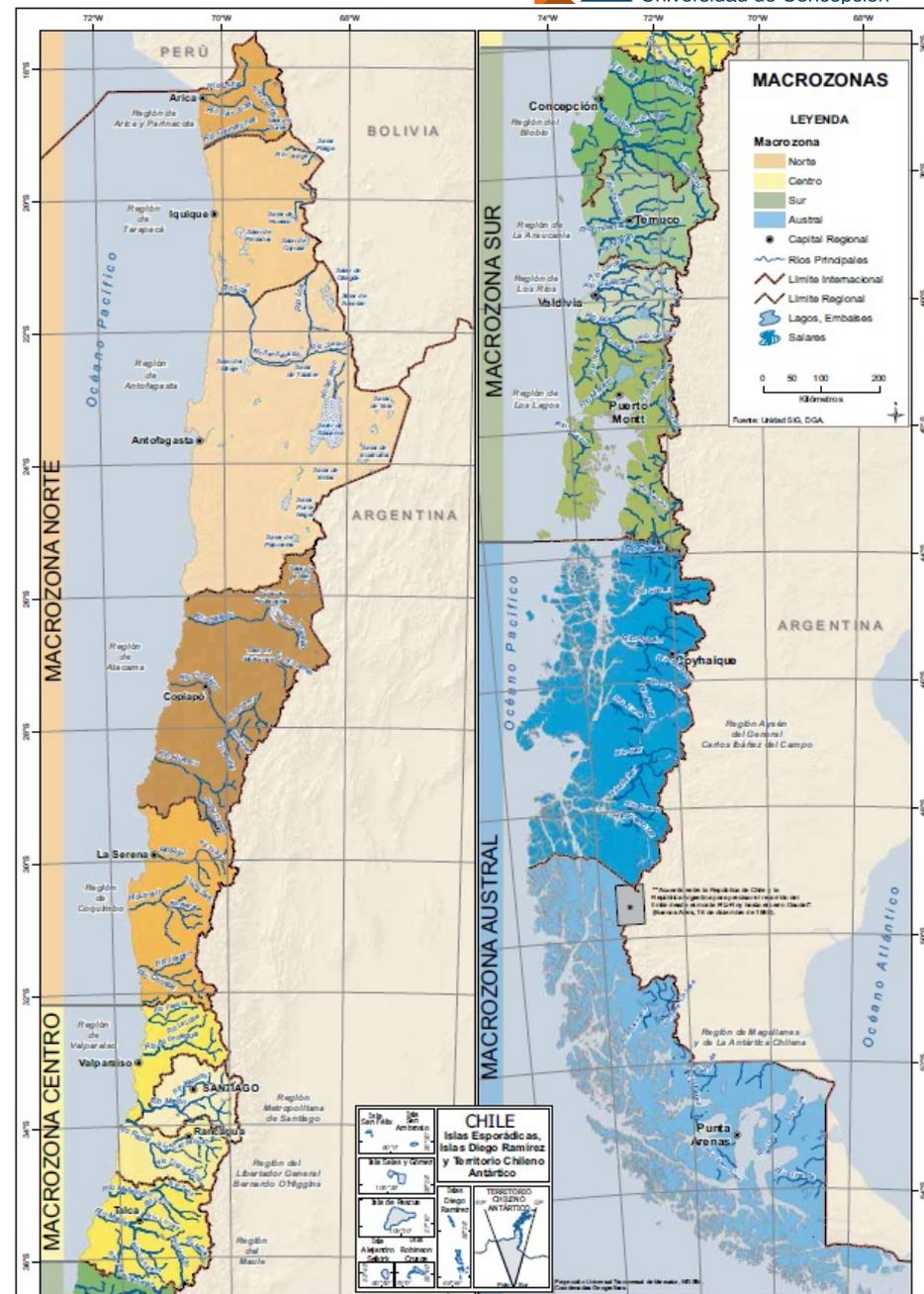
# El sistema de la Cuenca Hidrográfica

## Algunos componentes de una cuenca



# Cuencas en Chile

- ✓ 101 cuencas hidrográficas
- ✓ 1.251 ríos
- ✓ 12.784 cuerpos de agua (lagos y lagunas)
- ✓ 24.114 glaciares



# Cuenca Mapocho Alto

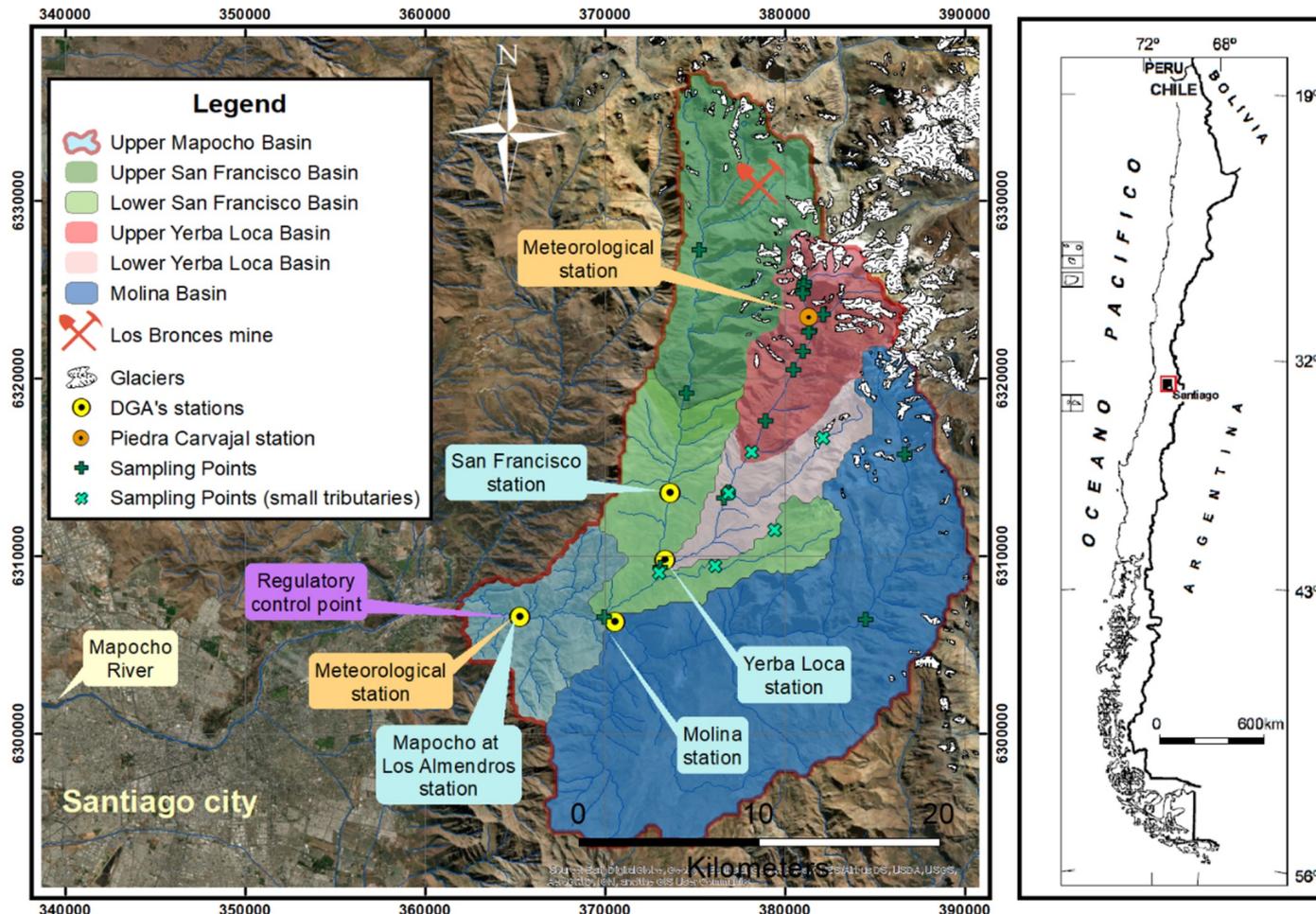
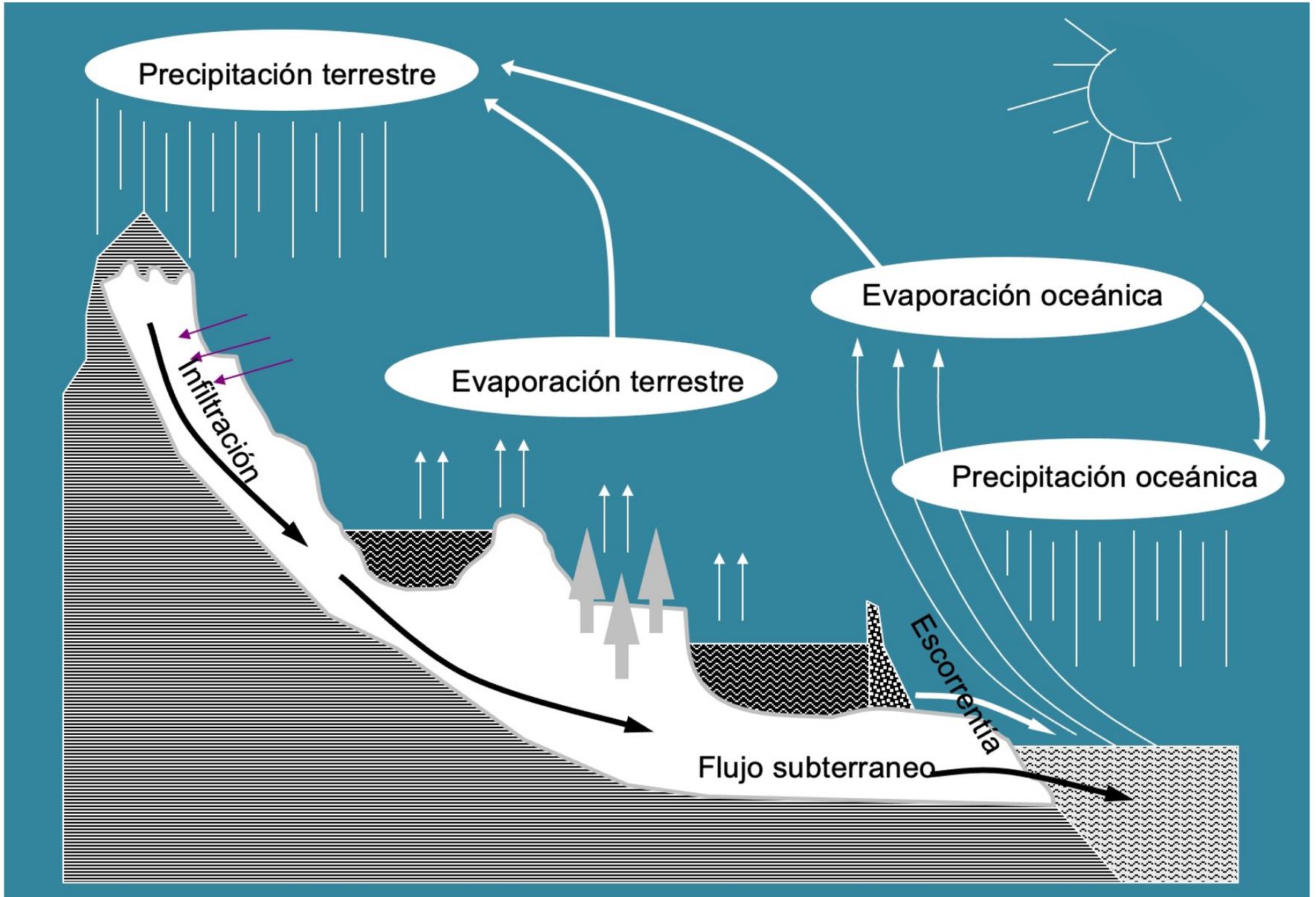


Fig. 1. The Mapocho river upper basin location map, indicating sub-basins, main rivers, main glaciers, DGA' stations, sampling points and the meteorological DGA's station at Piedra Carvajal.

# Ciclo hidrológico



# Balance Hídrico

*Precipitación*



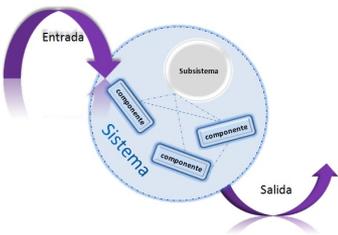
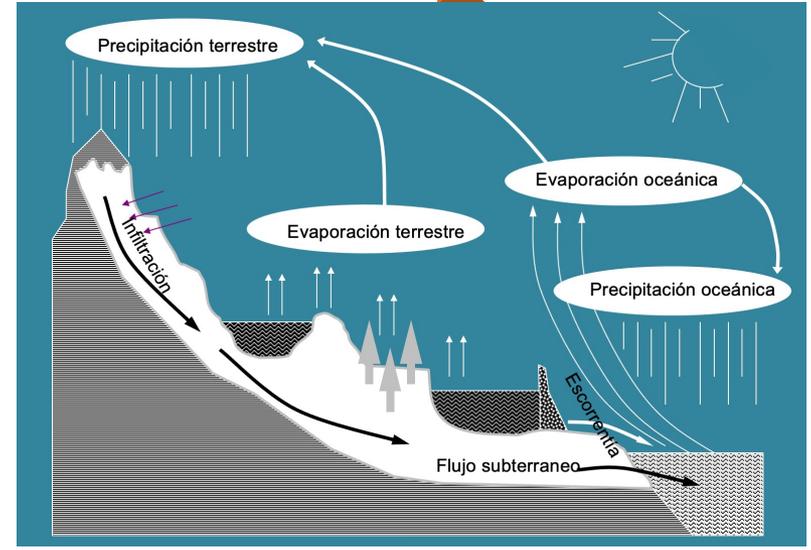
$$P(\text{mm}) = I_t + I + E_s + E_v$$

*Intercepción*

*Infiltración*

*Evapotranspiración*

*Escorrentía superficial*



$$P(\text{mm}) = I_t + I + E_s + E_v$$

**P:** es la *precipitación*, es decir, precipitación meteorológica horizontal (niebla, escarcha, etc.) y/o vertical (lluvia, granizo, nieve) en un intervalo de tiempo  $\Delta t$  (hora, día, mes, año).

**$I_t$ :** Corresponde a la *intercepción*, es decir, la fracción de la precipitación vertical que no llega al suelo sino que queda almacenada en la vegetación y se evapora desde allí nuevamente.

**I:** corresponde a la cantidad de agua, o fracción de la precipitación que se infiltra en el suelo y que depende de las características del mismo (*infiltración*).

**$E_s$ :** representa la cantidad de agua, o fracción de la precipitación que escurre por la superficie del terreno (*escorrentía superficial*).

**$E_v$ :** es la *evapotranspiración* real, es decir, la fracción evaporada directamente del suelo o de un cuerpo de agua más la tomada del suelo por las plantas y transpirada a la atmósfera.

# Balance Hídrico

De la precipitación que cae, no toda llega al suelo, parte de ella es interceptada por la vegetación y devuelta a la atmósfera. La fracción que llega al suelo se le denomina *Precipitación Neta* ( $P_N$ ).

$$P_N = P - I_t$$

Por lo tanto, el balance queda de la siguiente forma:

$$P_N = I + E_s + E_v$$

# Balance Hídrico

El balance hídrico puede ser modificado en función de las características del lugar, del espacio de tiempo que se considera y del elemento del ciclo estudiado.

1.- El balance puede incluir el agua acumulada (N).

$$P_N = I + E_s + E_v + N$$

2.- El término evapotranspiración puede desglosarse en dos:

- evaporación física (E)
- transpiración biológica (T)

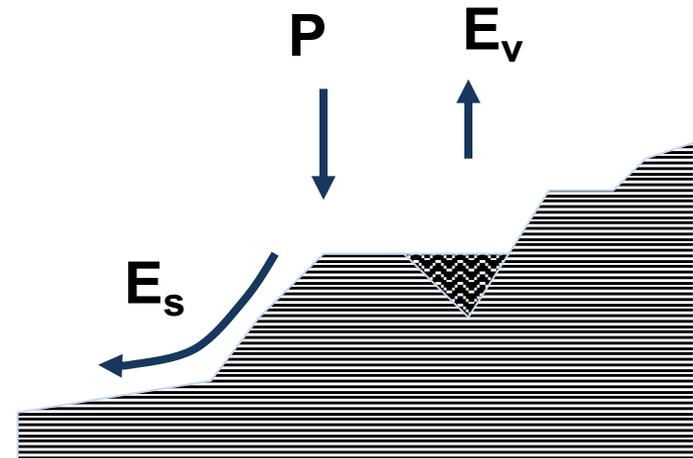
$$P_N = I + E_s + E + T + N$$

## Balance Hídrico

3.- En el caso de un suelo inclinado, impermeable y sin vegetación, tendremos:

$$P = P_N ; I_t = 0;$$

$$I = 0 \text{ y } T = 0 \Rightarrow P = E_s + E_v$$

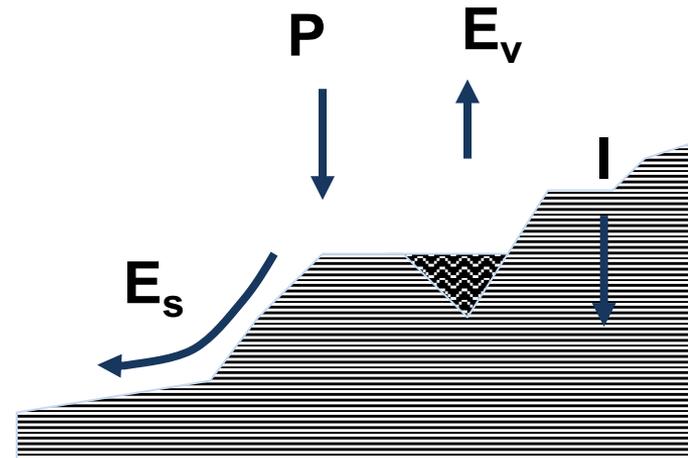


# Balance Hídrico

4.- En el caso de un suelo permeable, inclinado y sin vegetación, tendremos:

$$P = P_N ; I_t = 0;$$

$$I \neq 0 \text{ y } T = 0 \Rightarrow P = E_s + E_v + I$$



# Balance Hídrico

5.- Si nos emplazamos en una sección de río:

$I_t = 0$ , si no existe vegetación ribereña

$I \neq 0$ , generalmente si el río está revestido

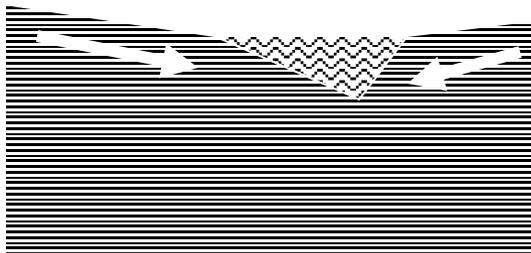
$I < 0$ , si se trata de un río ganador conectado con la napa freática

$I > 0$ , si se trata de un río colgado (perdedor), inconexo a fuentes y mananciales

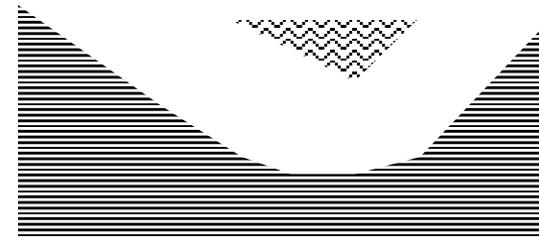
Río Ganador

$$\Rightarrow P = E_s + E_v + I$$

Río Perdedor



Capa Freática



Capa Freática

# Balance Hídrico

**SISTEMA:** Estructura, mecanismo, esquema o procedimiento (real o abstracto) que relaciona en el tiempo y espacio, una causa entrada o estímulo de materia, energía o información, con un efecto salida, o respuesta de información, energía o materia.

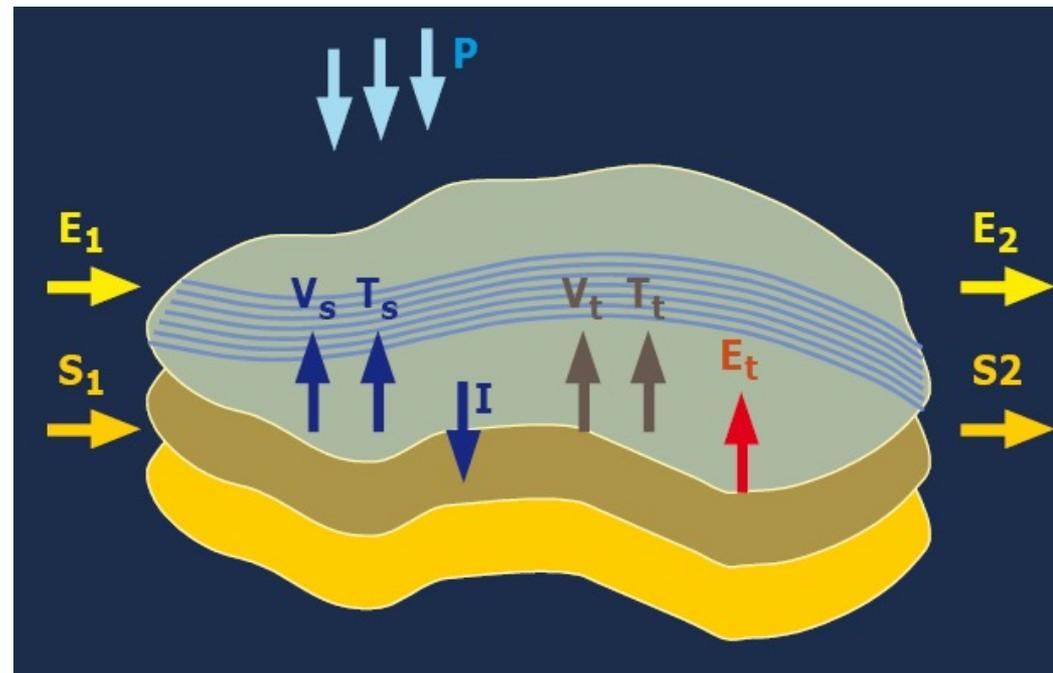
Se elige subsistema a estudiar



# Balance Hídrico

La cantidad de agua incluida en un *subsistema* no es constante en el tiempo, por lo que resulta necesario establecer una relación entre la variación de dicha cantidad, es decir, estudiar los flujos a partir del estado inicial y final aplicando la *ecuación de conservación de la masa*.

$$\Delta V = V_{\text{input}} - V_{\text{output}}$$



# Balance Hídrico

- ✓ Balance de entradas y salidas de agua al interior de una región hidrológica bien definida (una cuenca hidrográfica, un lago, un campo agrícola, un sector de riego), teniendo en cuenta las variaciones efectivas de la acumulación.
- ✓ El balance se realiza para un determinado periodo de tiempo, ya sea un día, una semana, etc.

# Balance Hídrico

## BALANCE HIDROLÓGICO PARA UNA CUENCA

$$WYLD = PP - ET - \Delta SW - (PERC - GWQ)$$

Donde:

**WYLD** : Cantidad de agua en la (sub)cuenca. Este término incluye, escorrentía superficial, flujo lateral y caudal base

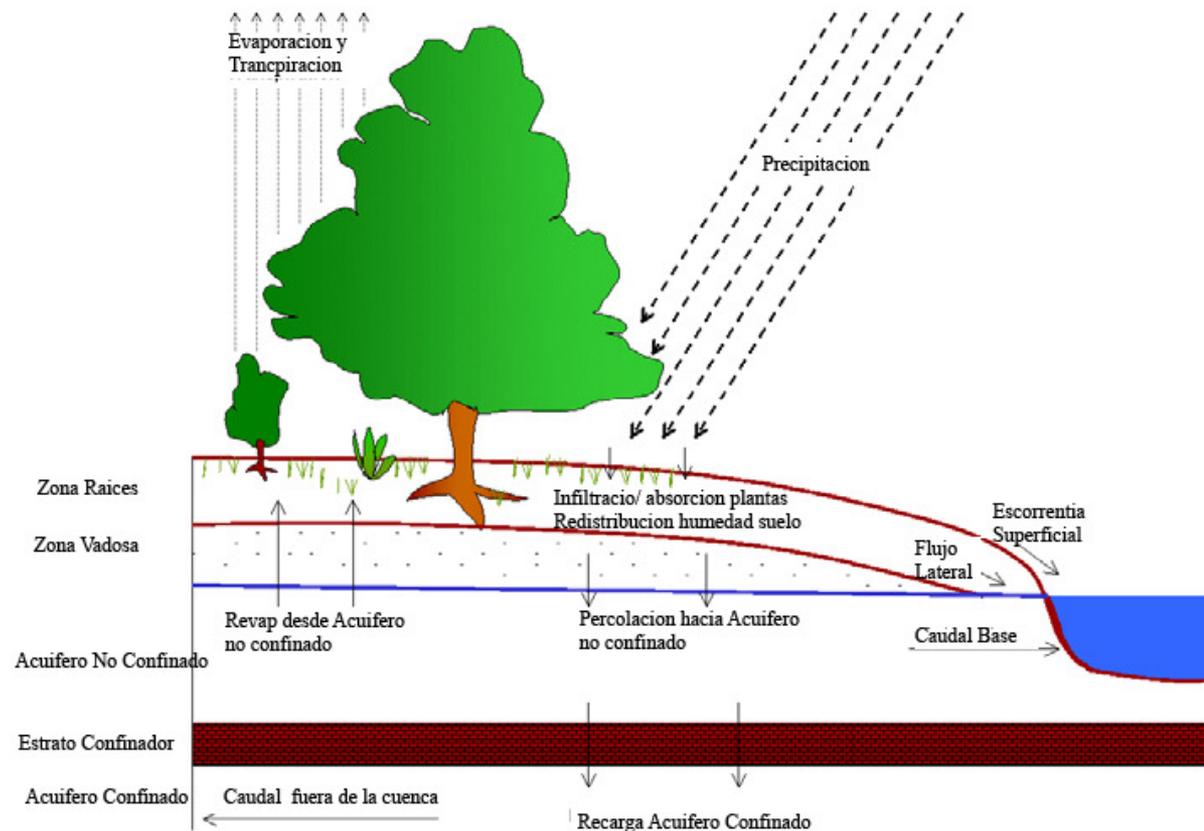
**PP** : Precipitación

**ET** : Evapotranspiración

**$\Delta SW$**  : Cambio en el contenido de agua del suelo (zona vadosa)

**PERC** : Caudal hacia agua subterránea

**GWQ** : Caudal Base contribuido al caudal total



# Balance Hídrico

## Paso para realizar un balance Hídrico

1

- Definición área de estudio (sistema)
- Definición de la resolución temporal

2

- **BALANCE HIDRICO**
- Análisis de caudales que ingresan y salen
- Recolección de datos de:
  - Precipitación
  - Temperatura
  - Viento
  - etc.

# Balance Hídrico

En el caso de un embalse tendremos:

*Entradas:*

$E_s$ : es la aportación de agua por escorrentía superficial, en el intervalo  $[i, i+1]$ .

$P_i * S_v$ : volumen de agua caída sobre el embalse en el intervalo  $[i, i+1]$ .

$P_i$ : es la precipitación.

$S_v$ : es la superficie del embalse.



# Balance Hídrico

## *Salidas:*

$Q$ : volumen de agua que sale del embalse en el intervalo  $[i, i+1]$ .

$E_i * S_v$ : volumen de agua perdida por evaporación directa desde la superficie del embalse.

$I_i * S_v$ : volumen de agua perdida por infiltración



Por lo tanto la variación de la reserva de agua en el embalse será:

$$\Delta V = E_s + P_i * S_v - (Q + E_i * S_v + I_i * S_v)$$

Si los valores de  **$\Delta V$  son negativos** las salidas de agua son superiores a las entradas: estiaje, sequía.

Si los valores de  **$\Delta V$  son positivos** estarán aumentando las reservas del embalse.



# Balance Hídrico

El volumen de agua al final del período estimado será:

$$V_{i+1} = V_i + \Delta V$$

siendo  $V_i$  el volumen de agua al principio del período establecido

De forma general podemos formular:

$$V_i + E_s + P_i * S_v = V_{i+1} + Q + E_i * S_v + I_i * S_v$$

# Balance Hídrico

Para el caso de una CUENCA, el balance hídrico se podrá obtener integrando el balance puntual de todas las zonas de la cuenca vertiente, con lo que nos queda:

$$\Delta V = P - [I_t + I + E_s + E_v]$$

O bien,

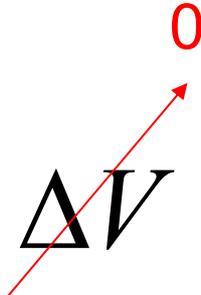
$$P = I_t + I + E_s + E_v + \Delta V$$

en donde todos los términos son conocidos, sólo que en este caso son valores estimados (valores medios ponderados)

# Balance Hídrico

$\Delta V$ : es la variación del almacenamiento de agua en la cuenca durante el tiempo  $\Delta t$  y se debe a precipitaciones en forma de nieve, modificaciones del contenido de humedad en el suelo, variaciones de nivel en los acuíferos, embalses...

Cuando  $\Delta t$  es anual o plurianual, se supone que  $\Delta V = 0$ , es decir, que al principio del período las reservas se encuentran al mismo nivel que en el período anterior.

$$P = I_t + I + E_s + E_v + \Delta V$$


# Balance Hídrico

En períodos largos (1 o más años) y en cuencas grandes (> 100.000 ha) la infiltración ( $I_t$ ) se considera nula, porque casi la totalidad vuelve a aflorar de las aguas subterráneas dentro de la misma cuenca. El balance simplificado será:

$$P = I_t + \cancel{I} + E_s + E_v + \cancel{\Delta V}$$

The diagram shows the equation  $P = I_t + I + E_s + E_v + \Delta V$  with red arrows pointing from the terms  $I$  and  $\Delta V$  to a red '0' above each, indicating they are zero.

$$P = I_t + E_s + E_v$$

# Balance Hídrico

Pero se puede simplificar aún más puesto que  $I_t$  en realidad es una fracción de precipitación que vuelve a la atmósfera por evaporación.

$$\bar{P} = \bar{E}_s + \bar{E}_v$$

Esta ecuación es la que se suele emplear frecuentemente para establecer el balance hídrico anual o plurianual de grandes cuencas.

# Balance Hídrico

**Abstracción: se considera sólo aquellos elementos del ciclo que son posibles de cuantificar**



**CICLO DE ESCORRENTÍA**



# Balance Hídrico

- Los resultados del Balance Hídrico de las cuencas de ríos (anual, estacional, mensual, semanal, ect.) es un insumo necesario para la gestión de cuencas, embalses y predicciones hidrológicas temporales, entre otros.
- Los resultados permiten comparar por ejemplo las precipitaciones, la escorrentía superficial, la evapotranspiración, ect., en diferentes períodos de tiempo y establecer su grado de influencia en las variaciones del régimen natural.
- Permite la planificación del recurso hídrico por escenarios, oferta, demanda, usos y gestión.

# Balance Hídrico de Chile 1987

## 1.3 DESARROLLO DEL ESTUDIO Y EQUIPO EJECUTIVO

El proyecto Balance Hídrico de Chile se comenzó en 1983, prolongándose la etapa de ejecución de estudios básicamente hasta el año 1986. Durante el año 1987 se efectuó una detallada revisión de los informes parciales y se preparó una versión resumida, adecuada para su edición a un nivel nacional.

El estudio fue realizado por la Dirección General de Aguas, a través de su Departamento de Hidrología, Subdepto. Estudios Hidrológicos. En la elaboración de los balances en 10 regiones del país se contó, además, con el apoyo de diferentes empresas consultoras.

Actuó como Jefe de Proyecto del Balance Hídrico de Chile el Jefe del Subdepto. Estudios Hidrológicos, Ing. Sr. Humberto Peña, y coordinó la preparación de la edición el Ingeniero de Ejecución en Meteorología Fernando Vidal.

A continuación se entrega el detalle de los informes preparados durante el proyecto:

– *Balance Hídrico Nacional. I Región.* A. Grilli, F. Vidal y C. Garín. Dirección General de Aguas, 1986.

- *Balance Hídrico Nacional. II Región.* A. Grilli, F. Vidal y C. Garín. Dirección General de Aguas, 1985.
- *Balance Hídrico Nacional, Regiones III y IV.* Ingeniería y Planificación (IPLA). Dirección General de Aguas. 1984.
- *Balance Hídrico Nacional. Regiones V, R.M., VI y VII,* Ingeniería y Planificación (IPLA). Dirección General de Aguas. 1983.
- *Balance Hídrico Nacional. Regiones VIII, IX y X (hasta río Bueno).* Ingeniería y Planificación (IPLA). Dirección General de Aguas. 1983.
- *Balance Hídrico Nacional. Cuenca río Itata.* Ricardo Edwards G. e Ingenieros (REG). Dirección General de Aguas. 1985.
- *Balance Hídrico Nacional. Regiones X (desde el río Bueno al sur) y XI.* Ricardo Edwards G. e Ingenieros (REG). Dirección General de Aguas. 1985.
- *Balance Hídrico Nacional. XII Región.* F. Vidal, B. Nazarala y C. Garín. Dirección General de Aguas. 1987.
- *Balance Hídrico Nacional. Versión Definitiva.* H. Peña, F. Vidal, C. Salazar, B. Nazarala, A. Grilli y F. Escobar. Dirección General de Aguas. 1987.

# Balance Hídrico de Chile 1987

BALANCES HIDRICOS  
(en régimen natural)

	PRECIPITACION		ESCORRENTIA		EVAPORACION	
	m <sup>3</sup> /s	mm	m <sup>3</sup> /s	mm	m <sup>3</sup> /s	mm
I y II	340	58,8	21	3.6	319	55,3
III a X	13120	1246	9130	867	3990	379
XI y XII	23490	2363	20260	2555	3230	408
CHILE (Excluye Territorio Chileno Antártico)	36950	1522	29411	1211	7539	311
SUDAMERICA	888x10 <sup>3</sup>	1564	351x10 <sup>3</sup>	618	537x10 <sup>3</sup>	946
MUNDIAL (Fase Terrestre)	3522x10 <sup>3</sup>	746	1256x10 <sup>3</sup>	266	2266x10 <sup>3</sup>	480

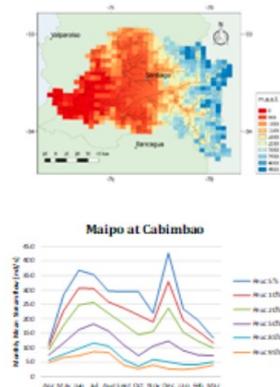
# Balance Hídrico de Chile 1987

ROL	CUENCAS	SUPERFICIE	PRECIPITACION		ESCORRENTIA		EVAPOTRANSPIRACION REAL		EVAPORACION		DISCREPANCIA	
			Km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	mm/año	m <sup>3</sup> /s	mm/año	S. NAT.	S. REG.	LAG-SALARES	m <sup>3</sup> /s	mm/año
							m <sup>3</sup> /s	mm/año	m <sup>3</sup> /s	mm/año	m <sup>3</sup> /s	mm/año
<b>VII REGION</b>												
074	COSTERAS ENTRE R. MAULE Y LIMITE REGIONAL Y											
080	COSTERAS ENTRE LIMITE REGIONAL Y R. ITATA											
	TOTAL CUENCAS: 074 Y 080	2580	66.3	810	21.1	258	45.2	552				
<b>VIII REGION</b>												
081	R. ITATA											
08106001	R. ÑUBLE EN SAN FABIAN	1708	144	2657	115	2122	25.3	467			+3.70	+68.0
08117005	R. CHILLAN EN CONFLUENCIA	708	36.5	1624	22.6	1007	13.4	596	0.09	4.00	+0.41	+17.0
08132001	R. DIGUILLIN EN LONGITUDINAL	1375	82.9	1902	52.0	1193	24.0	550	1.22	28.0	+5.68	+131
08123001	R. ITATA EN CHOLGUAN	907	59.3	2061	47.6	1655	15.3	532			-3.60	-126
08119002	R. ÑUBLE EN CONFLUENCIA	5667	287	1597	222	1235	99.0	550	1.74	11.0	-36.0	-199
08140002	R. ITATA EN NUEVA ALDEA	4527	252	1755	137	954	84.7	590	0.86	6.00	+29.4	+205
	TOTAL CUENCA: 081	11385	560	1550	361	1001	206	571	2.52	7.00		
082	COSTERAS ENTRE R. ITATA Y R. BIO BIO	1605	61.1	1200	28.0	550	33.1	650				
083	R. BIO BIO											
08307039	R. BIO BIO ANTES LLANQUEN	3380	203	1898	151	1409	50.6	472			+1.40	+17.0
08380001	R. LAJA EN TUCAPEL	2810	214	2398	176	1975	38.5	432			-0.50	-9.00
08317001	R. BIO BIO EN RUCALHUE	7226	573	2502	463	2021	109	477			+1.00	+4.00
08341001	R. RENAICO EN JAUJA	535	50.9	3000	42.2	2488	8.50	501			+0.20	+11.0
08323002	R. DUQUECO EN VILLUCURA	918	75.7	2600	58.6	2013	16.6	570			+0.50	+17.0
08332001	R. BUREO EN MULCHEN	567	54.7	3040	44.5	2475	10.2	565			0	0
08330001	R. MULCHEN EN MULCHEN	434	30.4	2210	21.9	1591	8.40	610			+0.10	+9.00
08351001	R. MALLECO EN COLLIPULLI	428	35.7	2630	28.4	2093	7.70	567			-0.40	-30.0
	TOTAL CUENCA: 083 (BIO BIO EN DESEMBOCADURA)	24782	1486	1891	1004	1004	446	568	24.4	31.0	+12.0	+14.0

# Balance Hídrico de Chile 2020

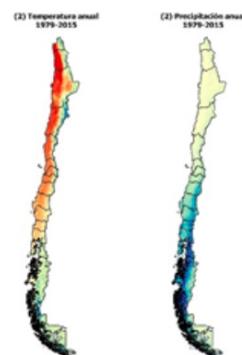
## 1. Caracterización de cuenca

- Geomorfología
- Geología
- Cobertura vegetal
- Hidrología



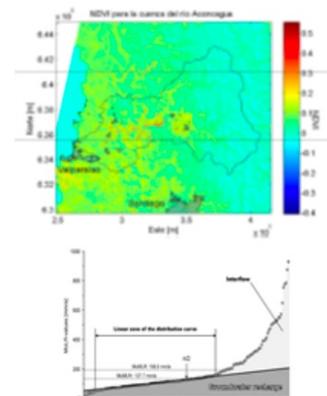
## 2. Forzantes Meteorológicas

- Precipitación
- Temperaturas extremas
- Viento



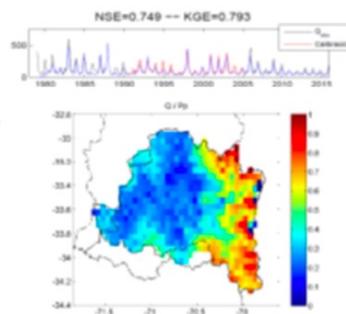
## 4. Estimaciones de validación

- Cobertura nival
- Evapotranspiración
- Caudal
- Recarga de agua subterránea



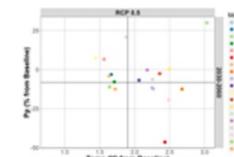
## 3. Modelación hidrológica

- Representación de caudales en curvas de duración y de variación estacional
- Representación física de otros procesos.
- Consideran principales extracciones consuntivas superficiales.
- Similitud hidrológica para transferencia de parámetros.



## 5. Variabilidad Climática

- Análisis en base a variaciones de modelos propuestos (CCSM4, IPSL-CM5A-LR y CSIRO MK3.6 y MIROC-ESM) para RCP8.5.



# Balance Hídrico de Chile 2020

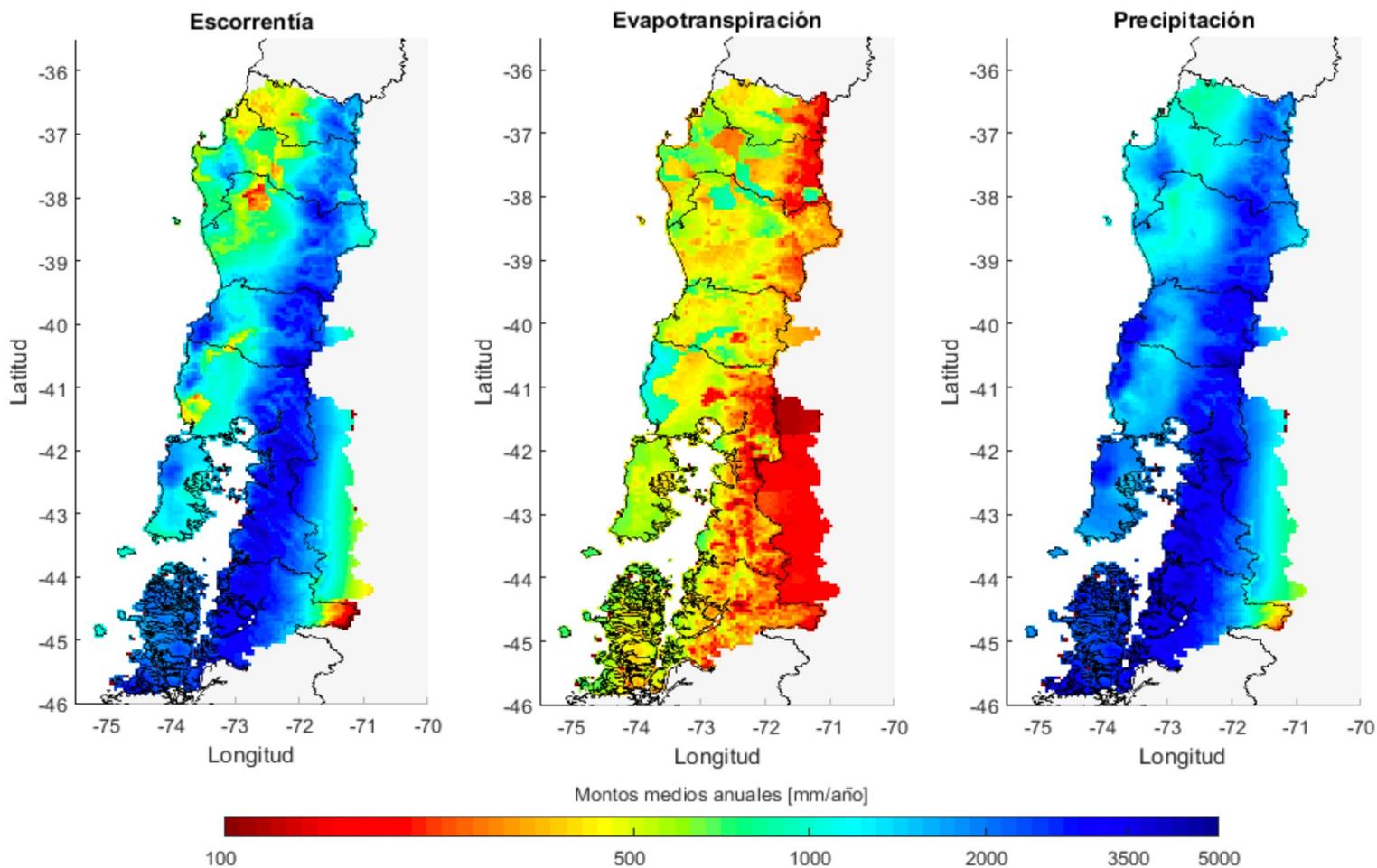


Figura 7.3: Montos medios anuales de evapotranspiración natural (no incluye efecto del riego), escorrentía y precipitación considerando el período abr-1985 a mar-2015.

# Balance Hídrico de Chile 2020

Tabla 7.1: Principales flujos hidrológicos para las cuencas definidas en el Atlas del Agua según el criterio de regionalización

DARH	Nombre	P	Q	ET	Riego	Glaciar	Recarga	ETP (VIC)	ETP (Hargreaves)
		mm/año							
800	Cuencas Costeras entre límite región y río Itata	1024,9	488,8	536,5	0	0	487,7	1686,3	1279,5
801	Río Itata	1413,4	969,8	444,6	130,3	0,4	966,7	1563,9	1321,1
802	Costeras e Islas entre Río Itata y Río Biobío	1060,8	473,3	588,5	0,0	0,0	472,7	1616,2	1310,6
803	Río Biobío	1709,9	1277,3	435,0	35,1	1,6	1269,2	1498,1	1234,8
804	Arauco	1637,2	1030,8	608,7	0,5	0,0	1027,7	1612,7	1245,8
805	Costeras entre Punta Lavapié y Río Lebu	1537,9	1062,3	477,1	0,2	0,0	1058,5	1766,0	1224,9

ROL	CUENCAS	SUPERFICIE		PRECIPITACION		ESCORRENTIA		EVAPOTRANSPIRACION REAL		EVAPORACION		DISCREPANCIA	
		Km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	mm/año	m <sup>3</sup> /s	mm/año	S. NAT. m <sup>3</sup> /s	S. REG. mm/año	S. REG. m <sup>3</sup> /s	LAG-SALARES mm/año	m <sup>3</sup> /s	mm/año	
<b>VII REGION</b>													
074	COSTERAS ENTRE R. MAULE Y LIMITE REGIONAL Y												
080	COSTERAS ENTRE LIMITE REGIONAL Y R. ITATA												
	TOTAL CUENCAS: 074 Y 080	2580	66.3	810	21.1	258	45.2	552					
<b>VIII REGION</b>													
081	R. ITATA												
08106001	R. NUBLE EN SAN FABIAN	1708	144	2657	115	2122	25.3	467				+ 3.70	+ 68.0
08117005	R. CHILLAN EN CONFLUENCIA	708	36.5	1624	22.6	1007	13.4	596	0.09	4.00		+ 0.41	+ 17.0
08132001	R. DIGUILLIN EN LONGITUDINAL	1375	82.9	1902	52.0	1193	24.0	550	1.22	28.0		+ 5.68	+ 131
08123001	R. ITATA EN CHOL GUAN	907	59.3	2061	47.6	1655	15.3	532				- 3.60	- 126
08119002	R. NUBLE EN CONFLUENCIA	5667	287	1597	222	1235	99.0	550	1.74	11.0		- 36.0	- 199
08140002	R. ITATA EN NUEVA ALDEA	4527	252	1755	137	954	84.7	590	0.86	6.00		+ 29.4	+ 205
	TOTAL CUENCA: 081	11385	560	1550	361	1001	206	571	2.52	7.00			
082	COSTERAS ENTRE R. ITATA Y R. BIO BIO	1605	61.1	1200	28.0	550	33.1	650					
083	R. BIO BIO												
08307039	R. BIO BIO ANTES LLANQUEN	3380	203	1898	151	1409	50.6	472				+ 1.40	+
08380001	R. LAJA EN TUCAPEL	2810	214	2398	176	1975	38.5	432				- 0.50	+
08317001	R. BIO BIO EN RUCALHUE	7226	573	2502	463	2021	109	477				+ 1.00	+
08341001	R. RENAICO EN JAUJA	535	50.9	3000	42.2	2488	8.50	501				+ 0.20	+
08323002	R. DUQUECO EN VILLUCURA	918	75.7	2600	58.6	2013	16.6	570				+ 0.50	+
08332001	R. BUREO EN MULCHEN	567	54.7	3040	44.5	2475	10.2	565				0	+
08330001	R. MULCHEN EN MULCHEN	434	30.4	2210	21.9	1591	8.40	610				+ 0.10	+
08351001	R. MALLECO EN COLLIPULLI	428	35.7	2630	28.4	2093	7.70	567				- 0.40	+
	TOTAL CUENCA: 083 (BIO BIO EN DESEMBOCADURA)	24782	1486	1891	1004	1004	446	568	24.4	31.0		+ 12.0	+

# Comparación Balances Hídrico de Chile

## Precipitación

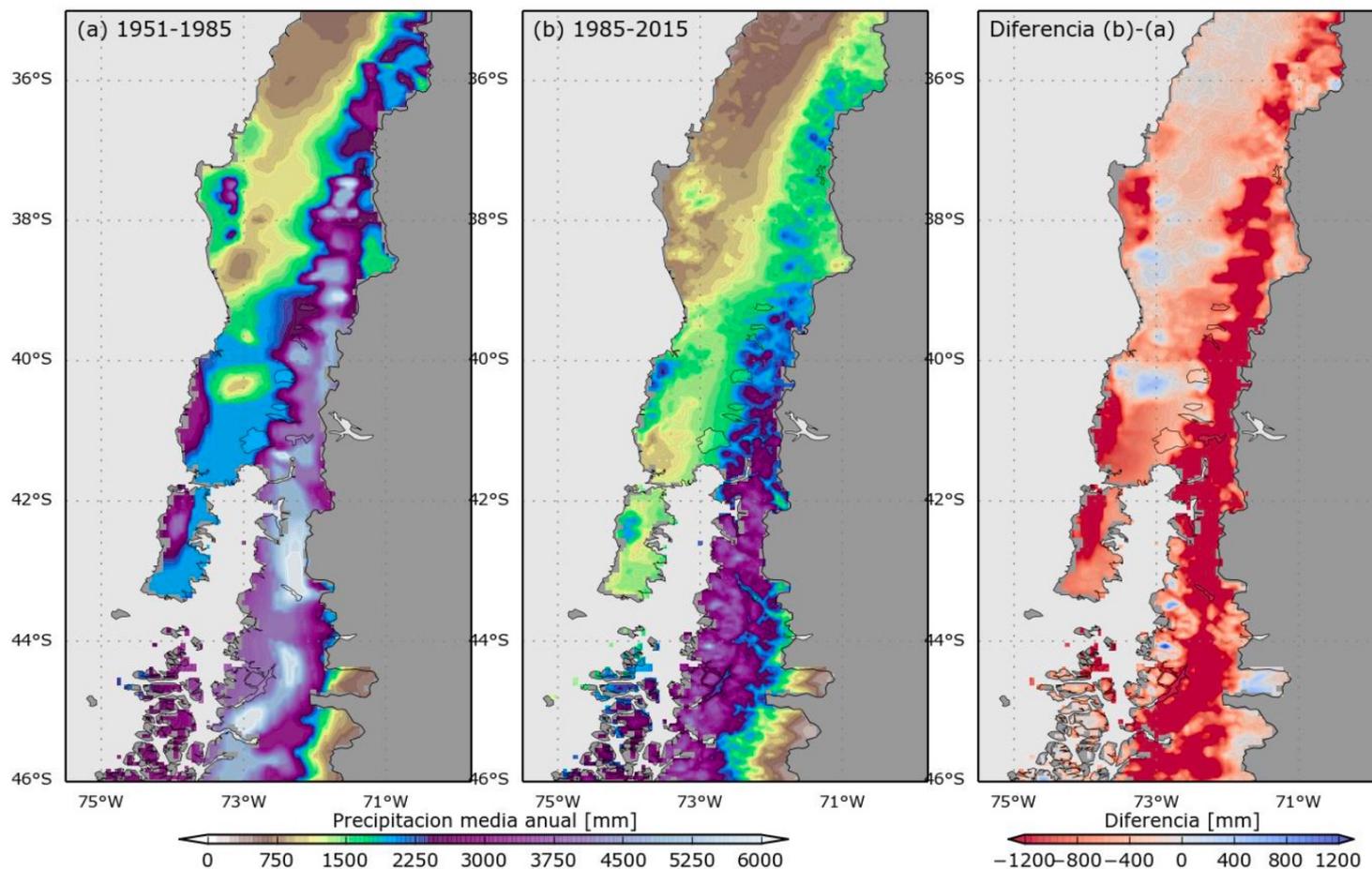


Figura 7.7: Climatología de precipitaciones anuales promedio para los estudios DGA (1987) y proyecto actual (paneles a y b) y diferencia de precipitaciones (panel c).

# Comparación Balances Hídrico de Chile

## Temperatura

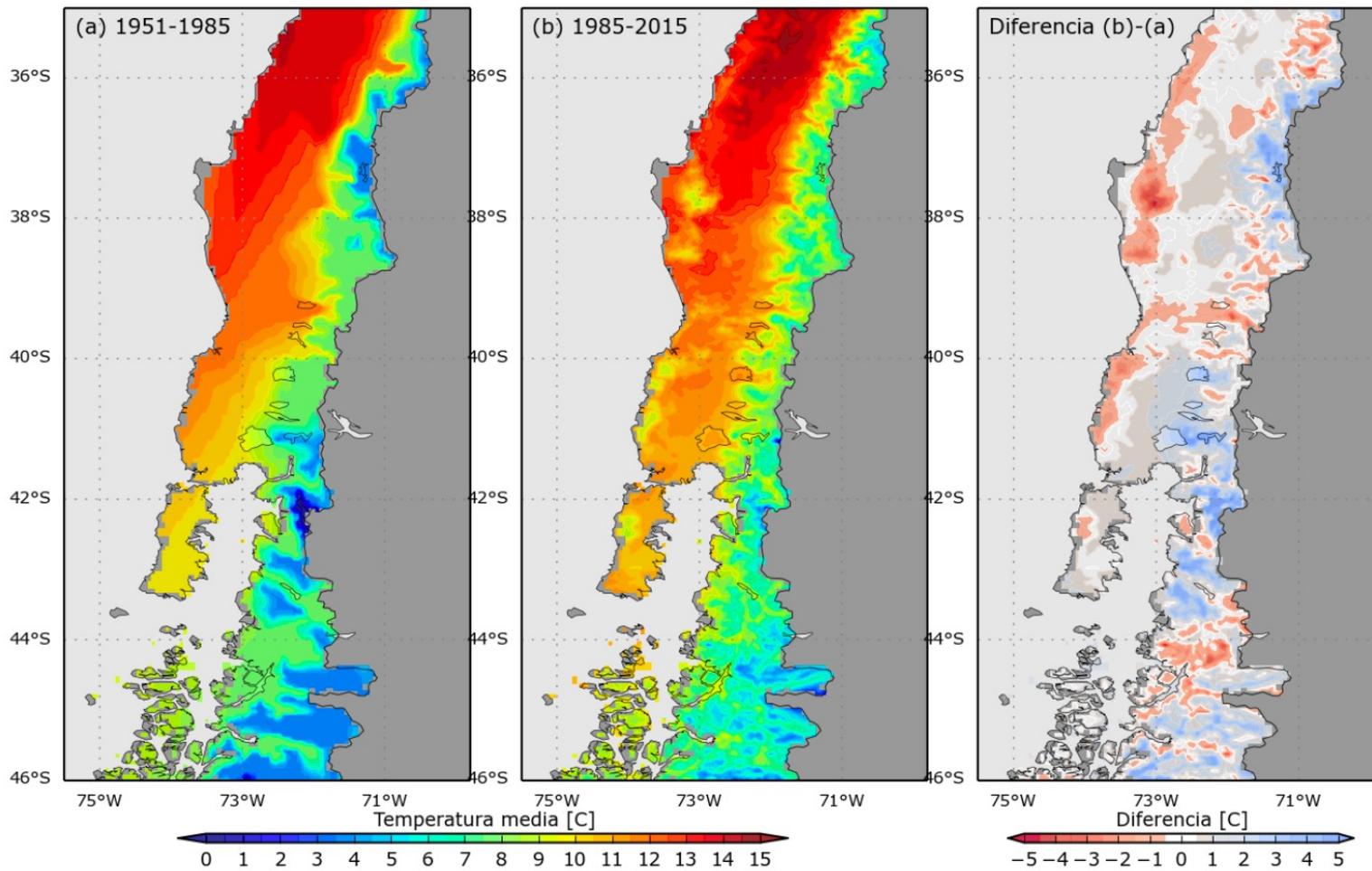


Figura 7.9: Climatología de temperatura media anual para los estudios DGA (1987) y proyecto actual (paneles a) y b) y diferencia de temperaturas.


 GOBIERNO DE CHILE  
 MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS  
 DIRECCIÓN GENERAL DE ASESORIA

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ACTUALIZACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO NACIONAL EN LAS CUENCAS DE LA MACROZONA SUR Y PARTE NORTE DE LA MACROZONA AUSTRIAL

INFORME FINAL  
 REALIZADO POR:  
 UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

S.I.T. N°481  
 SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2019

# Comparación Balances Hídrico de Chile

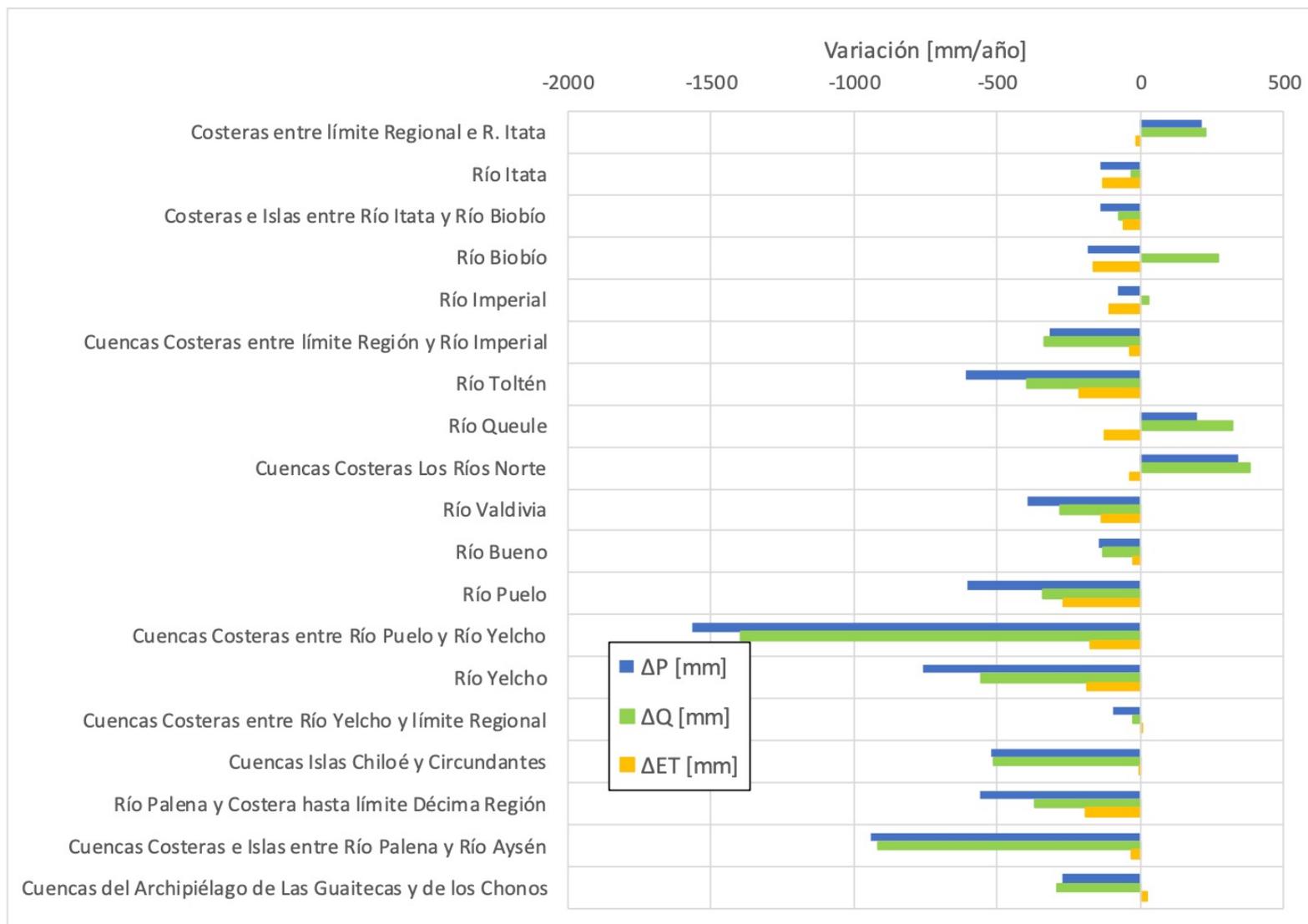


Figura 7.11 Comparación principales componentes del balance hídrico en zona de estudio para las cuencas donde se encontró equivalencia entre códigos BNA y DARH

# Balance Hídrico

## COEFICIENTE DE ESCORRENTIA

$$E_s = P * e$$

Donde:

P: es la pp media caída en el intervalo considerado (mm)

e: es el COEFICIENTE DE ESCORRENTIA de la cuenca, que para grandes períodos de tiempo (1 + años) se puede considerar que equivale al coeficiente entre el volumen de agua que sale por la sección de cierre de la cuenca y la precipitación media caída en ese mismo período ( $0 \leq e \leq 1$ )

# Balance Hídrico de Chile 1987

## COEFICIENTE DE ESCORRENTIA

ROL	CUENCAS	SUPERFICIE Km <sup>2</sup>	PRECIPITACION		ESCORRENTIA		EVAPOTRANSPIRACION REAL		EVAPORACION		DISCREPANCIA		
			m <sup>3</sup> /s	mm/año	m <sup>3</sup> /s	mm/año	S. NAT. m <sup>3</sup> /s	S. REG. mm/año	S. NAT. m <sup>3</sup> /s	S. REG. mm/año	LAG-SALARES m <sup>3</sup> /s	LAG-SALARES mm/año	m <sup>3</sup> /s
<b>VII REGION</b>													
074	COSTERAS ENTRE R. MAULE Y LIMITE REGIONAL Y												
080	COSTERAS ENTRE LIMITE REGIONAL Y R. ITATA												
TOTAL CUENCAS: 074 Y 080		2580	66.2	810	21.1	258	45.2	552					
<b>VIII REGION</b>													
081	R. ITATA												
08106001	R. ÑUBLE EN SAN FABIAN											+3.70	+68.0
08117005	R. CHILLAN EN CONFLUENCIA											+0.41	+17.0
08132001	R. DIGUILLIN EN LONGITUDINAL											+5.68	+131
08123001	R. ITATA EN CHOLGUAN											-3.60	-126
08119002	R. ÑUBLE EN CONFLUENCIA											-36.0	-199
08140002	R. ITATA EN NUEVA ALDEA	3067	267	1397	222	1233	39.0	330	1.74	11.0		-36.0	-199
TOTAL CUENCA: 081		4527	252	1755	137	954	84.7	590	0.86	6.00		+29.4	+205
082	COSTERAS ENTRE R. ITATA Y R. BIO BIO	1605	61.1	1200	28.0	550	33.1	650					
083	R. BIO BIO												
08307039	R. BIO BIO ANTES LLANQUEN	3380	203	1898	151	1409	50.6	472				+1.40	+17.0
08380001	R. LAJA EN TUCAPEL	2810	214	2398	176	1975	38.5	432				-0.50	-9.00
08317001	R. BIO BIO EN RUCALHUE	7226	573	2502	463	2021	109	477				+1.00	+4.00
08341001	R. RENAICO EN JAUJA	535	50.9	3000	42.2	2488	8.50	501				+0.20	+11.0
08323002	R. DUQUECO EN VILLUCURA	918	75.7	2600	58.6	2013	16.6	570				+0.50	+17.0
08332001	R. BUREO EN MULCHEN	567	54.7	3040	44.5	2475	10.2	565				0	0
08330001	R. MULCHEN EN MULCHEN	434	30.4	2210	21.9	1591	8.40	610				+0.10	+9.00
08351001	R. MALLECO EN COLLIPULLI	428	35.7	2630	28.4	2093	7.70	567				-0.40	-30.0
TOTAL CUENCA: 083 (BIO BIO EN DESEMBOCADURA)		24782	1486	1891	1004	1004	446	568	24.4	31.0		+12.0	+14.0

$$e = \frac{E_s}{P} = \frac{1001}{1550} = 0.65$$

$$e = \frac{E_s}{P} = \frac{1004}{1891} = 0.53$$

$$E_s = P * e$$

# Balance Hídrico de Chile 2020

## COEFICIENTE DE ESCORRENTIA

$$e = \frac{E_s}{P} = \frac{969.8}{1413.4} = 0.69$$

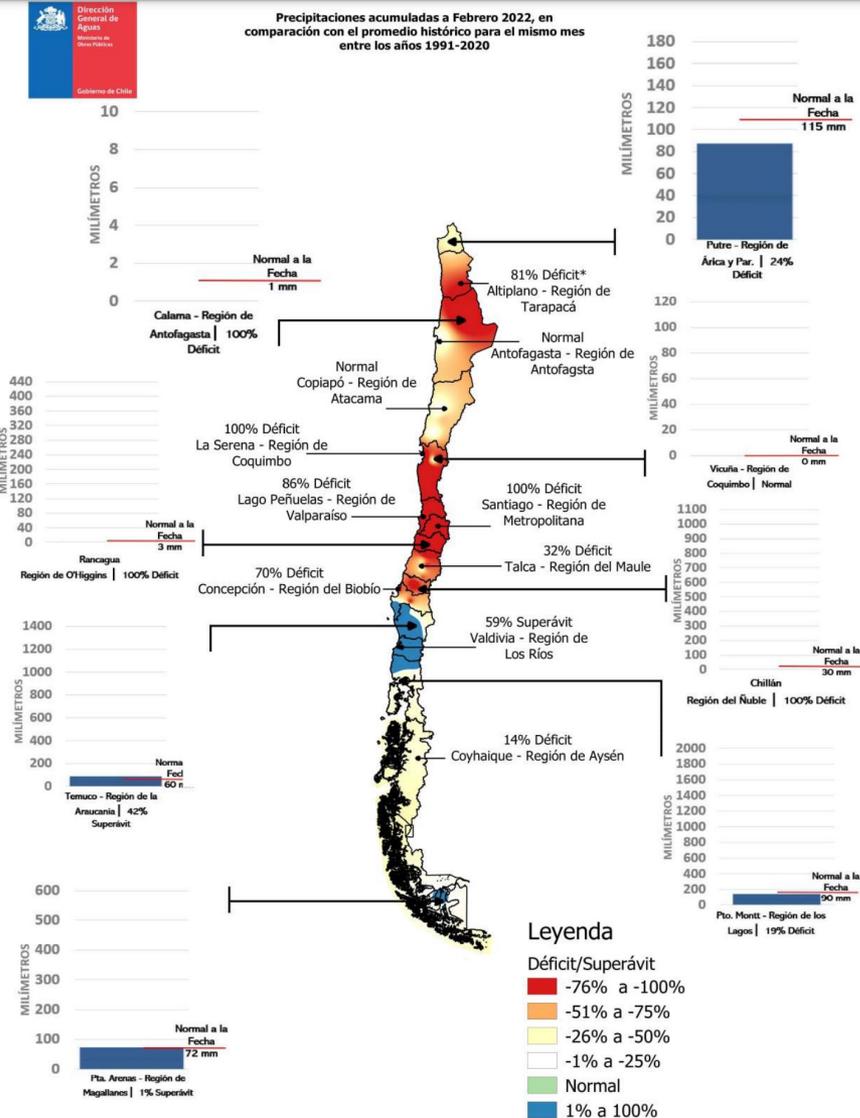
Tabla 7.1: Principales flujos hidrológicos para las cuencas definidas en el Atlas del Agua según el criterio de regionalización

DARH	Nombre	P	Q	ET	Riego	Glaciar	Recarga	ETP (VIC)	ETP (Hargreaves)
800	Cuencas Costeras entre límite región y río Itata	1024,9	488,8	536,5	0	0	487,7	1686,3	1279,5
801	Río Itata	1413,4	969,8	444,6	130,3	0,4	966,7	1563,9	1321,1
802	Costeras e Islas entre Río Itata y Río Biobío	1060,8	473,3	588,5	0,0	0,0	472,7	1616,2	1310,6
803	Río Biobío	1709,9	1277,3	435,0	35,1	1,6	1269,2	1498,1	1234,8
804	Arauco	1637,2	1030,8	608,7	0,5	0,0	1027,7	1612,7	1245,8
805	Costeras entre Punta Lavapié y Río Lebu	1537,9	1062,3	477,1	0,2	0,0	1058,5	1766,0	1224,9

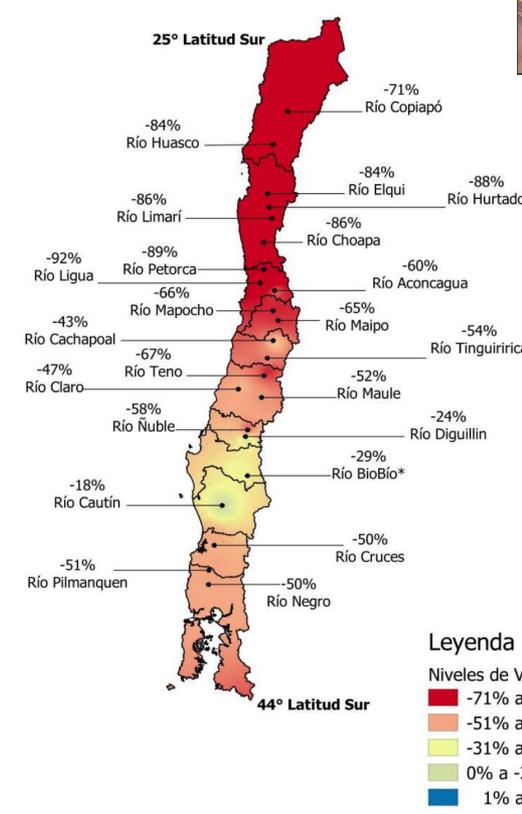
$$E_s = P * e$$

$$e = \frac{E_s}{P} = \frac{1277.3}{1709.9} = 0.75$$

# Situación Actual



**Mapa de Variación de Caudales para el mes de Febrero 2022 con respecto al caudal promedio histórico del mismo mes en el período 1991-2020.**



\* Dato obtenido mediante interpolación

(\*) Estación Fluviométrica Río BioBío en Rucalhue se encuentra regulada en su medición por la descarga de caudales provenientes desde una serie de embalses ubicados a en distintos tramos del río aguas arriba. Ralco, Pangue y Angostura (desde aguas arriba hacia aguas abajo)

# Situación Actual

Región	Comuna	Estaciones	Abril 2022 [mm]	Acumulado al 2022 [mm]	Promedio a la fecha [mm]	Exceso o Déficit Período Actual %	Acumulada en 2021 [mm]
ARICA Y PARINACOTA	ARICA	ARICA	0,0	0,5	1,0	-50	4,2
ARICA Y PARINACOTA	ARICA	AZAPA	0,0	0,4	1,2	-67	4,8
ARICA Y PARINACOTA	PUTRE	CENTRAL CHAPIQUIÑA	0,0	128,1	141,2	-9	28,3
TARAPACÁ	IQUIQUE	IQUIQUE	0,0	0,0	0,8	-100	0,0
ANTOFAGASTA	CALAMA	CONCHI EMBALSE	0,0	1,1	17,7	-94	1,7
ANTOFAGASTA	CALAMA	CALAMA	0,0	3,0	1,7	75	0,0
ANTOFAGASTA	ANTOFAGASTA	ANTOFAGASTA	0,0	0,0	1,1	-100	0,0
ANTOFAGASTA	CALAMA	SALADO EMBALSE	0,0	81,1	63,4	28	8,1
ATACAMA	DIEGO DE ALMAGRO	LAS VEGAS	0,0	21,7	5,4	303	0,0
ATACAMA	COPIAPO	COPIAPO	0,0	0,0	2,0	-100	0,0
ATACAMA	TIERRA AMARILLA	LAUTARO EMBALSE	0,0	0,4	4,6	-91	2,0
ATACAMA	VALLENAR	VALLENAR	0,0	0,0	2,9	-100	1,0
ATACAMA	ALTO DEL CARMEN	SAN FELIX	0,0	0,0	5,5	-100	0,0
COQUIMBO	VICUÑA	LA LAGUNA EMBALSE	0,0	23,9	14,0	71	24,3
COQUIMBO	VICUÑA	RIVADAVIA	0,0	0,0	3,3	-100	0,0
COQUIMBO	VICUÑA	VICUÑA	0,1	0,1	2,8	-96	0,0
COQUIMBO	LA SERENA	LA SERENA	0,0	0,0	1,6	-100	0,0
COQUIMBO	OVALLE	OVALLE	0,0	0,0	1,9	-100	0,0
COQUIMBO	ILLAPEL	ILLAPEL	0,0	0,0	2,7	-100	0,0
COQUIMBO	MONTEPATRIA	PALOMA EMBALSE	0,0	0,0	2,3	-100	0,0
COQUIMBO	OVALLE	RECOLETA EMBALSE	0,0	0,0	3,0	-100	0,0
COQUIMBO	COMBARBALA	COGOTI 18	0,0	0,0	4,6	-100	0,0
COQUIMBO	ILLAPEL	HUINTIL	0,0	0,1	3,9	-97	0,0
COQUIMBO	SALAMANCA	COIRON	0,0	0,2	4,5	-96	0,0
COQUIMBO	LOS VILOS	LOS VILOS	0,0	0,2	2,2	-91	0,0
VALPARAISO	CABILDO	LA MOSTAZA	0,0	0,0	7,0	-100	6,8
VALPARAISO	LOS ANDES	VILCUYA	0,0	0,0	10,9	-100	24,6
VALPARAISO	SAN FELIPE	SAN FELIPE	0,0	0,0	5,2	-100	20,0
VALPARAISO	QUILLOTA	QUILLOTA	0,0	0,0	4,8	-100	8,6
VALPARAISO	LIMACHE	LOS AROMOS	0,0	0,1	5,1	-98	15,9
VALPARAISO	VALPARAISO	LAGO PEÑUELAS	0,0	0,4	7,7	-95	23,1
VALPARAISO	VIÑA DEL MAR	RODEILLO	0,0	0,6	6,4	-91	26,6
METROPOLITANA	TIL-TIL	RUNGUE EMBALSE	0,0	0,0	7,1	-100	20,5
METROPOLITANA	SAN JOSE DE MAIPO	EL YESO EMBALSE	0,0	1,7	27,4	-94	105,3
METROPOLITANA	PAINE	LAGUNA ACULEO	0,0	0,1	8,7	-99	35,8
METROPOLITANA	SAN JOSE DE MAIPO	SAN GABRIEL	0,0	2,8	17,6	-84	132,2
METROPOLITANA	SAN JOSE DE MAIPO	SAN JOSE DE MAIPO RETEN	0,0	0,3	12,9	-98	109,7
METROPOLITANA	LO BARNECHEA	CERRO CALAN	0,0	0,1	12,0	-99	49,1
METROPOLITANA	LA REINA	QUEBRADA SAN RAMON	0,0	0,4	s/Normal	s/Normal	52,9
METROPOLITANA	PEÑALOEN	QUEBRADA DE MACUL	0,0	0,0	s/Normal	s/Normal	56,2
METROPOLITANA	SANTIAGO	SANTIAGO (MOP)	0,0	0,0	8,6	-100	27,6
METROPOLITANA	MELIPILLA	MELIPILLA	0,0	0,0	6,5	-100	29,7
O'HIGGINS	RANCAGUA	RANCAGUA	0,0	0,0	9,9	-100	43,5
O'HIGGINS	SAN FERNANDO	SAN FERNANDO	0,0	0,0	13,0	-100	82,0
O'HIGGINS	SAN FERNANDO	LA RUFINA	0,0	1,9	23,4	-92	66,1
O'HIGGINS	CHIMBARONGO	CONVENTO VIEJO	0,0	1,6	16,2	-90	59,6
O'HIGGINS	PICHILEMU	PICHILEMU	0,0	3,7	13,1	-72	31,0
MAULE	CURICO	CURICO	0,0	0,3	17,6	-98	74,3
MAULE	TALCA	TALCA UC	0,5	8,4	22,3	-62	153,0
MAULE	SAN CLEMENTE	COLORADO	0,0	6,8	49,8	-86	61,5
MAULE	LINARES	LINARES	0,6	19,3	35,8	-46	77,9
MAULE	PARRAL	PARRAL	1,5	20,0	48,9	-59	55,3
MAULE	PARRAL	DIGUA EMBALSE	2,5	19,3	67,8	-72	75,1
MAULE	CONSTITUCION	CONSTITUCION	0,0	1,4	24,9	-94	53,9
ÑUBLE	CHILLAN	CHILLAN	1,0	8,2	55,4	-85	59,0
ÑUBLE	COIHUECO	EMBALSE COIHUECO	6,0	22,8	84,6	-73	103,0
BIOBIO	CONCEPCION	CONCEPCION	1,8	15,6	66,7	-77	63,2
BIOBIO	LOS ANGELES	LOS ANGELES	1,6	21,4	71,7	-70	15,5
BIOBIO	CAÑETE	CAÑETE	8,3	118,5	92,8	28	55,2
BIOBIO	MULCHEN	MULCHEN	0,0	14,8	87,7	-83	52,6
ARAUCANIA	ANGOL	ANGOL	0,5	44,0	58,3	-24	17,1
ARAUCANIA	CURCAUTIN	MALCAHUELLO	29,7	288,2	227,5	27	201,9
ARAUCANIA	LONQUIMAY	LONQUIMAY	7,1	186,7	117,3	59	114,8
ARAUCANIA	TEMUCO	TEMUCO	13,2	167,3	116,0	44	67,0
ARAUCANIA	PUCON	PUCON	20,8	273,2	249,7	9	175,6
LOS RÍOS	VALDIVIA	VALDIVIA	13,0	250,8	188,0	33	92,7
LOS RÍOS	LAGO RANCO	EL LOLLY	6,9	177,9	201,3	-12	119,5
LOS LAGOS	OSORNO	OSORNO	5,4	196,2	154,3	27	45,3
LOS LAGOS	PUERTO MONTT	PUERTO MONTT	13,7	298,8	309,1	-3	123,3
LOS LAGOS	PUERTO MONTT	LAGO CHAPO	23,0	362,6	455,6	-20	149,0
LOS LAGOS	COCHAMO	PUELO	52,2	417,0	444,8	-6	235,0
LOS LAGOS	CHAITÉN	CHAITÉN	36,1	630,2	676,0	-7	214,9
LOS LAGOS	HUALAHUE	HORNOPIREN	51,2	998,4	631,0	58	247,4
LOS LAGOS	ANCUD	ANCUD	21,3	330,7	293,2	13	104,8
LOS LAGOS	CASTRO	CASTRO	7,5	269,3	s/Normal	s/Normal	72,5
AYSÉN	CISNES	LA JUNTA	27,2	480,0	412,7	16	214,7
AYSÉN	COIHAIQUE	COIHAIQUE	9,6	138,2	157,9	-12	88,4
MAGALLANES Y DE LA ANTARTICA	TORRES DEL PAINE	TORRES DEL PAINE	7,4	101,8	203,4	-50	101,4
MAGALLANES Y DE LA ANTARTICA	PUNTA ARENAS	PUNTA ARENAS	20,5	131,5	133,4	-1	92,6
MAGALLANES Y DE LA ANTARTICA	PRIMAVERA	BAHIA SAN FELIPE	3,2	58,0	125,9	-54	65,5
MAGALLANES Y DE LA ANTARTICA	CABO DE HORNO	RIO ROBALO EN PUERTO WIL	7,1	293,9	153,4	92	148,6

# Programa Diploma “Derechos de Agua, Medio Ambiente y Cambio Climático”

## Ciclo del agua

**Dra. Alejandra Stehr Gesche**  
**Académica del la Facultad de Ingeniería**  
**Universidad de Concepción**

