

---

# ***HIDROGEOQUIMICA***

---

*GL45C- Auxiliar Geoquímica*

# Geoquímica de las aguas

- Estudia las propiedades químicas del agua superficial y subterránea, y su relación con la geología regional.
  - La composición química del agua es el resultado de los componentes que adquiere en su evolución a través de las distintas partes del ciclo geológico.
  - La hidrogeoquímica es la compilación de varias ciencias:
    - QUÍMICA del agua, que concierne al estudio de los procesos y reacciones químicas que afectan la distribución y circulación de especies disueltas en aguas naturales
    - GEOLOGÍA
    - BIOLOGÍA
-

## UNIDADES:

- ❖ ppm (partes por millón= mg/L)
- ❖ mol/L
- ❖ mmol/L (milimol por litro)
- ❖ eq/L
- ❖ meq/L (miliequivalente)

$$\text{Moles} = \text{gr} / \text{PM}$$

$$\text{Equivalentes} = \text{mol} \times \text{valencia}$$

Ejemplo: 60 mg/L de  $\text{Ca}^{++}$  (Peso del  $\text{Ca}^{++} = 40$ )

Concentración en Moles:  $60/40 = 1,5 \text{ mmol/L}$  (milimoles /litro) o bien:  $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ moles/L}$

Concentración en Equivalentes:  $1,5 \times 2 = 3 \text{ meq/L}$  (miliequivalentes /litro) o bien:  $3 \cdot 10^{-3} \text{ meq/L}$

---

•Conversiones:

•Conc. en mmol/l = (ppm o mg/l) / Peso Molecular

•Conc. en meq/l = Conc. en mmol/l x Carga iónica

---

# Elementos químicos en el agua

- Cationes:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$
- Aniones: Bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), Sulfatos ( $\text{SO}_4^{--}$ ), Cloruros ( $\text{Cl}^-$ ), Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ )
- Elementos traza (As, Cu, Ag, B, Si, Fe, Li, Ba, Ni, etc).

---

# Evolución geoquímica de las aguas

Los datos químicos ayudan eficazmente a:

1. Establecer áreas de recarga y descarga
  2. Tiempos de permanencia en el terreno
  3. Tipo de roca con que interactuó el agua
-

# Clasificación e interpretación de datos

- Por comparación a datos estandar
- Conductividad y pH
- Diagramas Piper
  - V: muchas aguas pueden ser ploteadas → evolución.
  - D: muestra proporciones relativas y no absolutas.
- Diagramas Stiff
  - V: facilidad en la interpretación, proporciones absolutas.
  - D: cada análisis requiere su propio gráfico.
- Total de sólidos disueltos (TDS) (mg/L)
  - $TDS < 1,000$  → **Agua dulce**: potable.
  - $TDS = 1,000 - 20,000$  → **Agua salobre**: no potable.
  - $TDS \sim 35,000$  → **Agua salina**: agua de mar.
  - $TDS > 35,000$  → **Salmuera**: mucho más salina que el mar.

---

## Interpretación preliminar de datos hidroquímicos

- **Fiabilidad** de los datos
- **Consistencia** con las interpretaciones geológicas e hidrogeológicas

### El tratamiento de los datos debe tender a conocer:

- Distribución espacial
- Evolución temporal
- Relaciones mutuas de las características físico-químicas

#### Técnicas gráficas

- Mapas de distribución
- Gráficas de evolución
- Diagramas de correlación
- Diagramas triangulares
- Otros

#### Técnicas estadísticas

- Test estadísticos
- Análisis multivariante

#### Técnicas de modelización

- De equilibrio-especiación
- De reacción
- De balance de masas

# Composición de tipos de agua

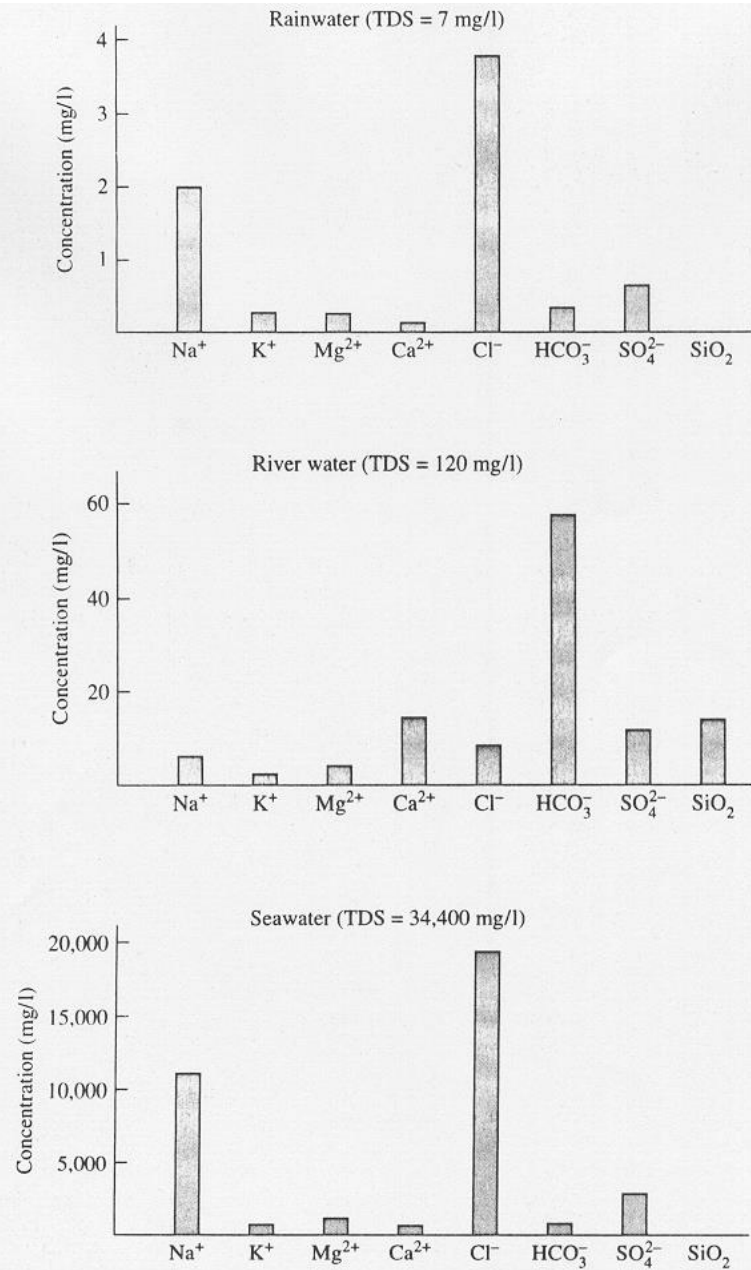
## Agua de mar

Constituyente	mg/Kg (ppm)
Sodio (Na <sup>+</sup> )	10 500
Magnesio (Mg <sup>2+</sup> )	1 350
Calcio (Ca <sup>2+</sup> )	400
Potasio (K <sup>+</sup> )	380
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	19 000
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	2 700
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	142
Bromuro (Br <sup>-</sup> )	65
Otros sólidos	34
Sólidos disueltos totales	34 500

# Composición de tipos de agua

## Constituyentes mayores

Constituyente	Agua superficial (mg/L)	Agua subterránea (mg/L)
Sodio (Na <sup>+</sup> )	6.3	30.0
Magnesio (Mg <sup>2+</sup> )	4.1	7.0
Calcio (Ca <sup>2+</sup> )	15.0	50.0
Potasio (K <sup>+</sup> )	2.3	3.0
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	7.8	20.0
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	3.7	30.0
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	58.0	200.0
Sílice (SiO <sub>2</sub> aq)	14.0	16.0
pH	6-8	7.4
SDT	120.0	350.0



**Figure 4-13** Average chemical compositions of rainwater, river water, and seawater. TDS = total dissolved solids. Note that total concentrations increase from rainwater to river water to seawater. Note also the change of scale from top to bottom. The SiO<sub>2</sub> concentration in rainwater and seawater is too low to appear. [After The Open University (1989, 101). Reprinted by permission of Butterworth-Heinemann Ltd.]

## Conductividad

Facilidad del agua para conducir la corriente eléctrica. El agua destilada es prácticamente aislante, pero la conductividad aumenta rápidamente con la cantidad de iones disueltos. Su importancia se basa en que se mide muy fácilmente y nos indica aproximadamente la salinidad del agua:

$$\text{Suma de sales disueltas (mg/L)} \approx \text{Conductividad (}\mu\text{S/cm)} * 0,75$$

	C ( $\mu\text{S/cm}$ )
Pura	0,05
Destilada	0,5-5
Lluvia	5-30
Subterránea potable	30-1000
Mar	50.000

## pH

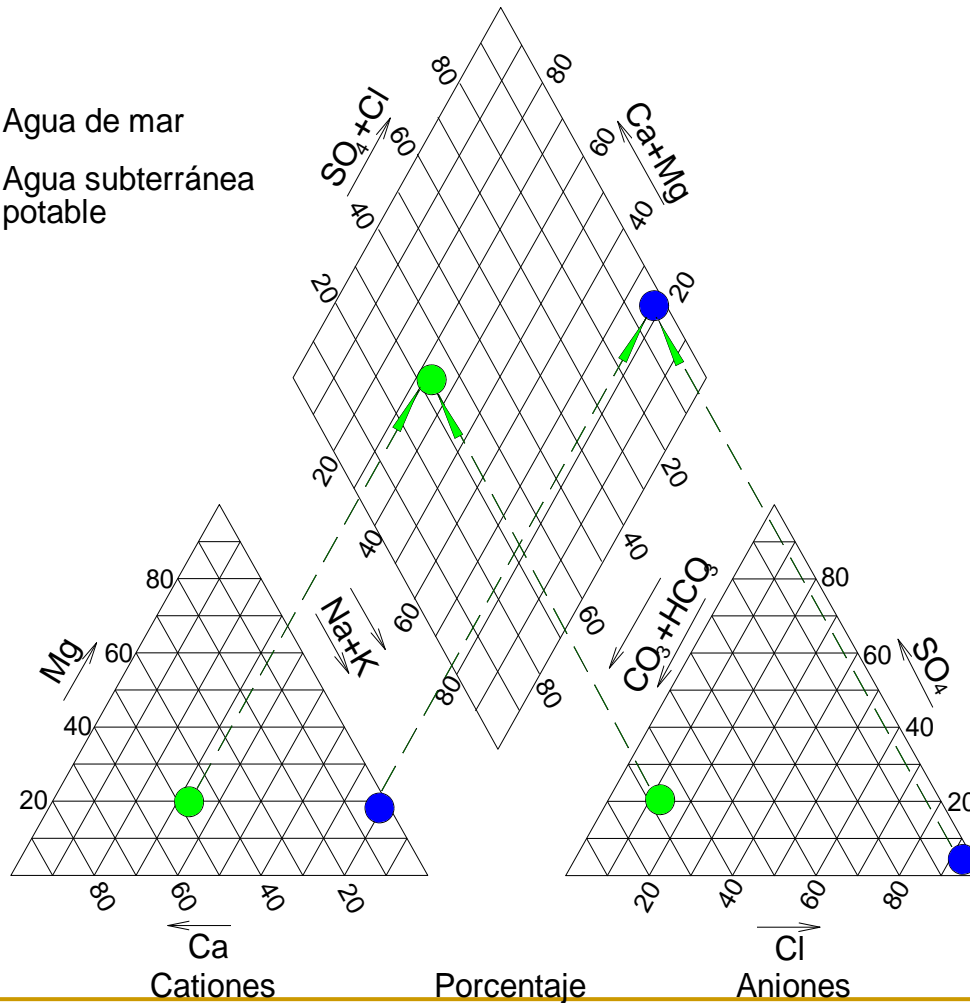
Mide la acidez del agua. Es igual a  $-\log(H^+)$ . Siendo ( $H^+$ ) la actividad<sup>1</sup> de iones Hidrógeno.

Por ejemplo, un agua con  $\text{pH}=6$  tiene 100 veces más  $H^+$  que un agua con  $\text{pH}=8$  (las respectivas actividades de  $H^+$  serían  $10^{-6}$  y  $10^{-8}$ )

— En las aguas naturales oscila entre 5,5 y 8,5, en aguas subterráneas habitualmente entre 6,5 y 8,5 —  
(Agua del mar aprox. 8)

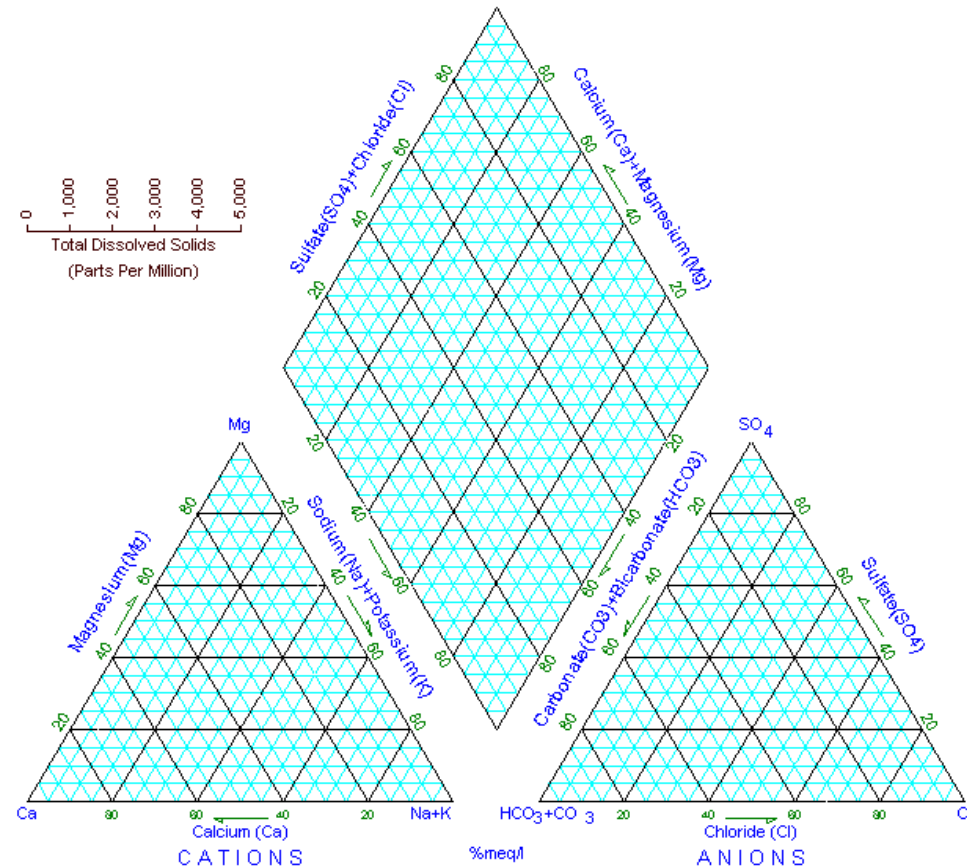
# DIAGRAMA DE PIPPER

- Agua de mar
- Agua subterránea potable



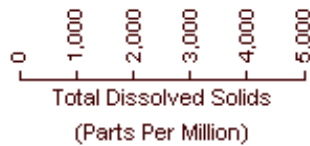
# Construcción

- Convertir mg/l a meq/l
- Sumar meq/l de cationes
- Sumar meq/l de aniones
- Dividir cada cation ( $\text{Na}+\text{K}$ ) entre el total de cationes (meq/l)
- Dividir cada anión entre el total de aniones (meq/l)
- Graficar porcentajes (x 100) en los triángulos inferiores.
- Proyectar los puntos de los dos triángulos inferiores al rombo superior y graficar el punto en la intersección.
- Graficar en grupo de muestras
- Los círculos indican la cantidad de sólidos disueltos totales (TDS)
- Analizar tipos de agua y evolución hidrogeoquímica.



# Tipos de aguas:

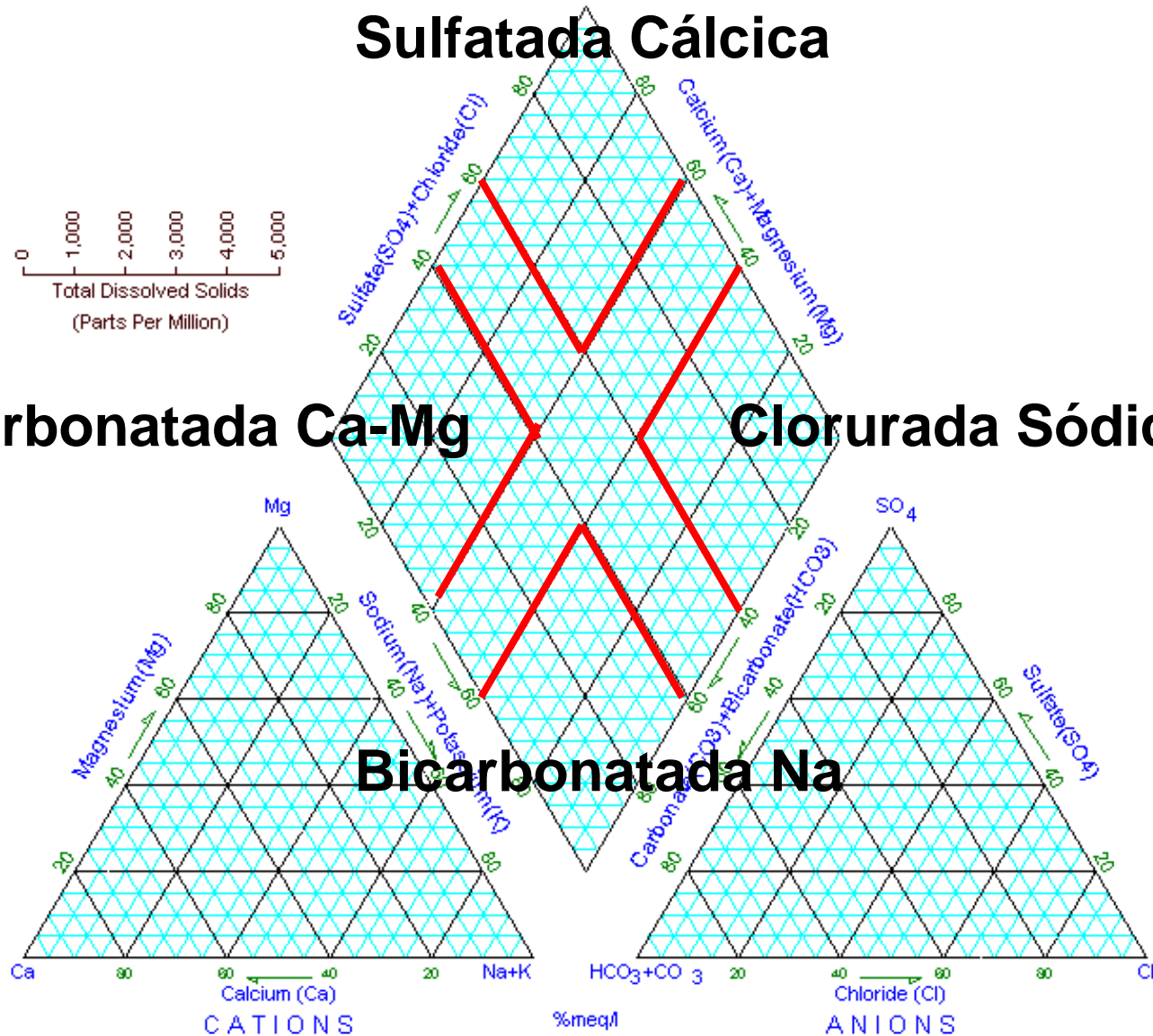
**Sulfatada Cálcica**



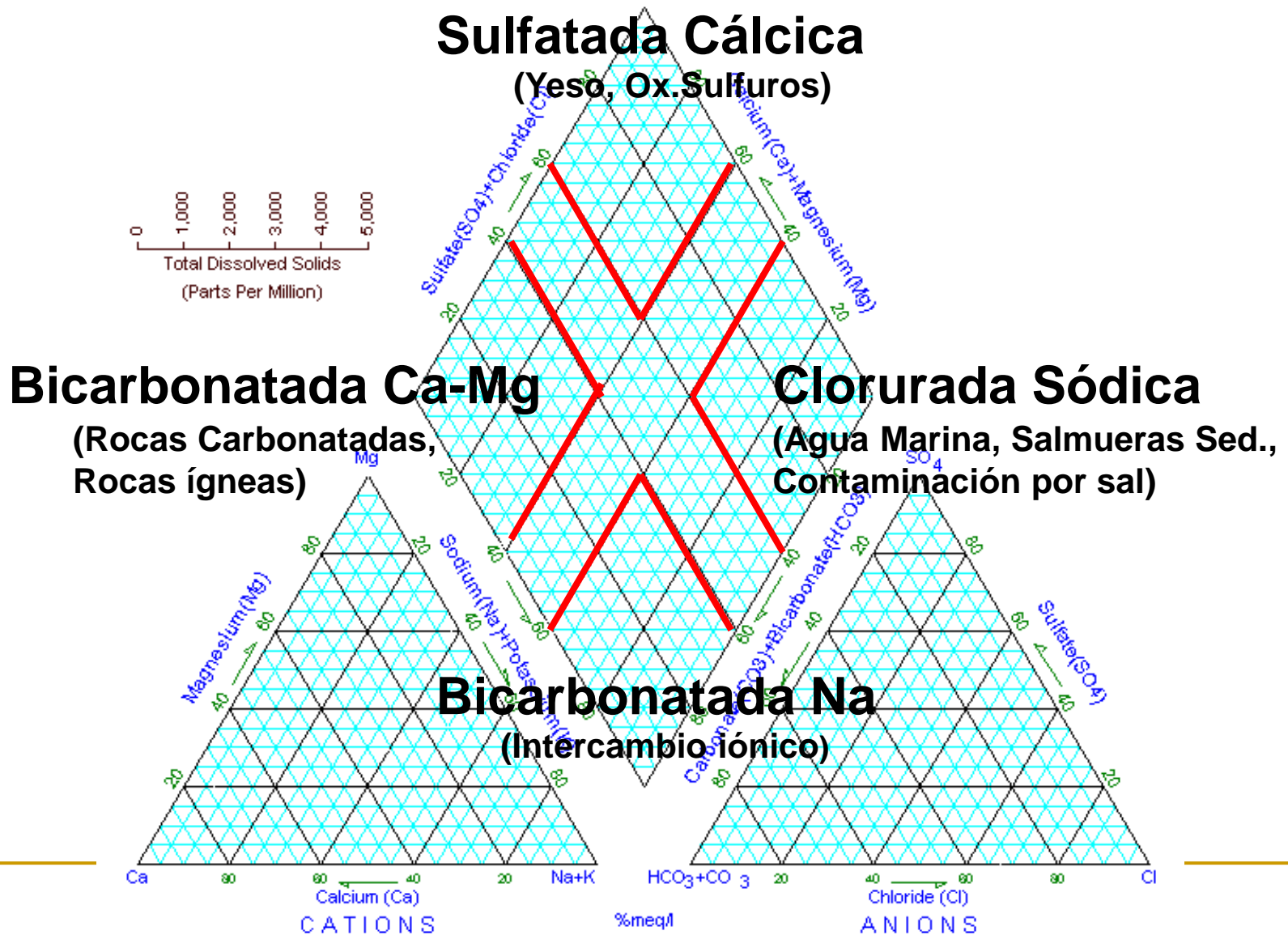
**Bicarbonatada Ca-Mg**

**Clorurada Sódica**

**Bicarbonatada Na**

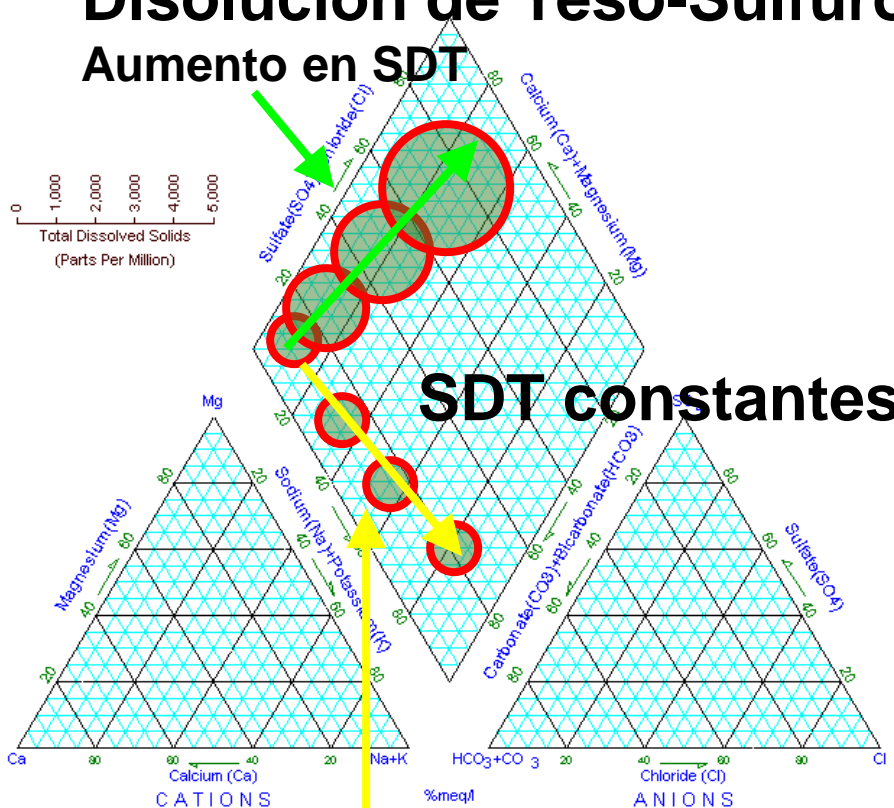


# Tipos de aguas y relación con el medio:



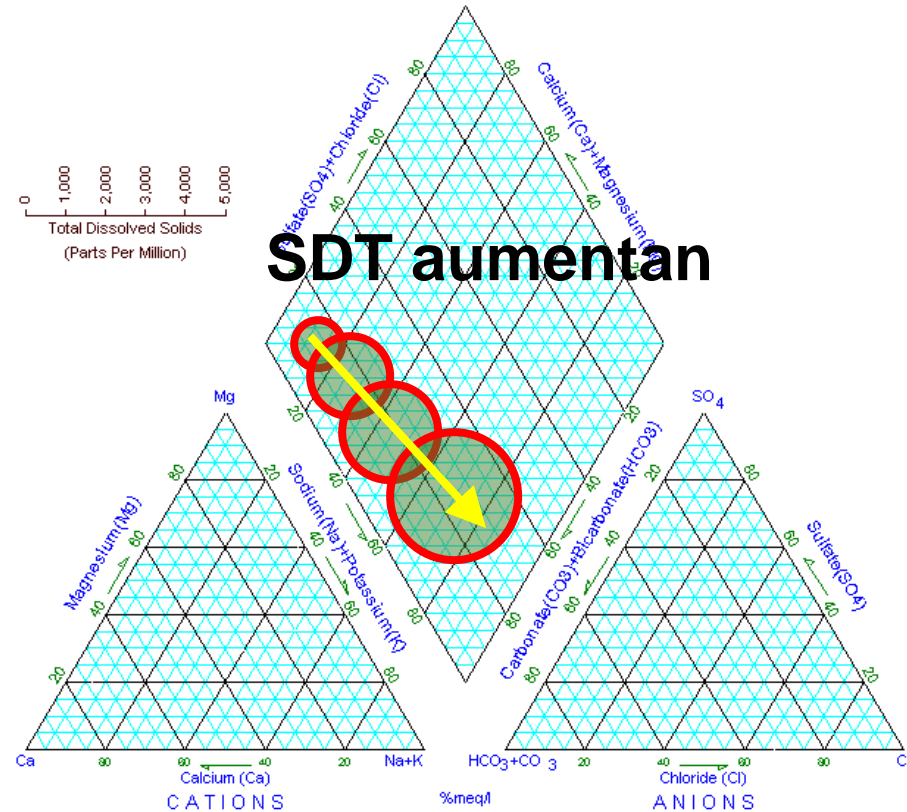
# Algunos procesos:

## Disolución de Yeso-Sulfuros Aumento en SDT



**Intercambio Catiónico**  
 $\text{Arce-Na} + \text{Ca} = \text{Arce-Ca} + \text{Na}$

**SDT aumentan**



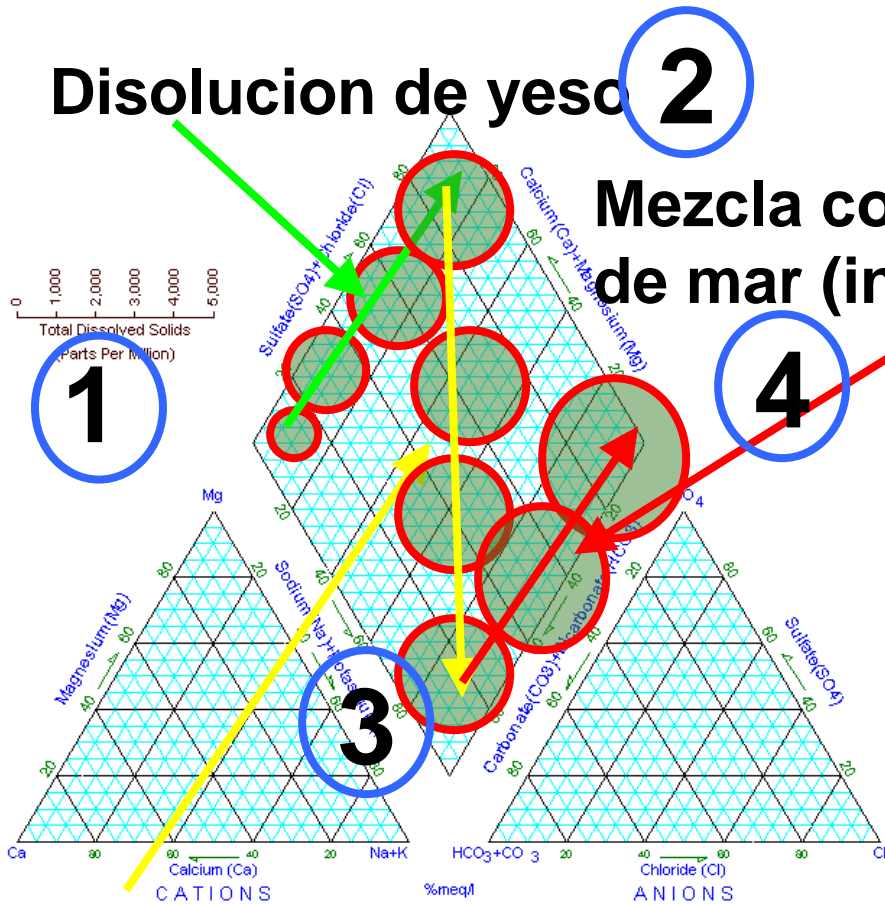
**Mezcla de Aguas**

# Ejemplo de evolución hidrogeoquímica:

Disolución de yeso

2

Mezcla con agua de mar (intrusión)



1

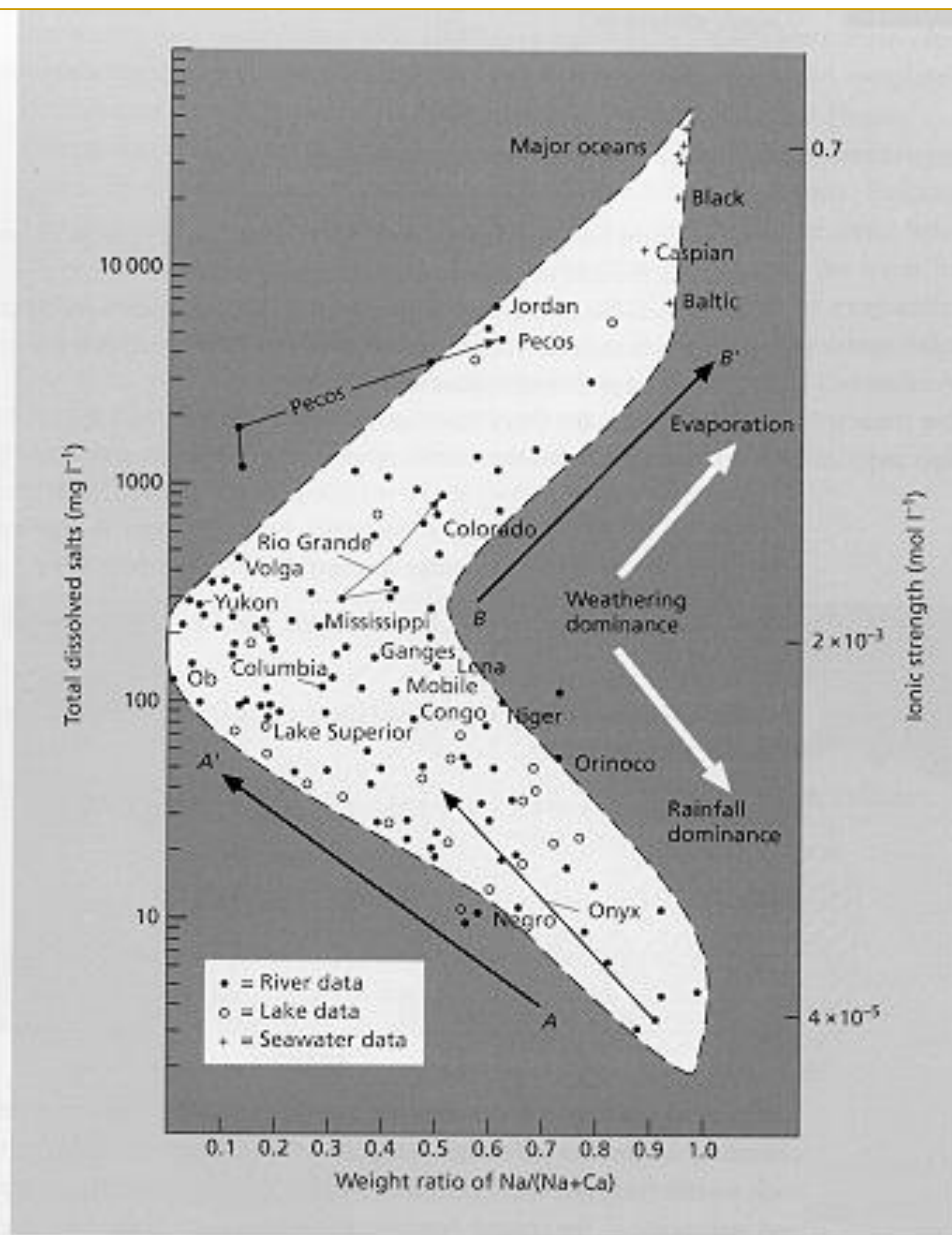
4

3

- Agua de recarga joven en un acuífero carbonatado (1)
- Flujo de agua sub. pasa por la zona de influencia de un relleno sanitario (2)
- Después el agua reacciona con arcillas (intercambio Ca-Na) (3)
- Finalmente el agua se mezcla con agua de mar (4)

**Intercambio Catiónico**





**Fig. 3.24** Variation of the weight ratio of Na/(Na + Ca) as a function of the total dissolved solids and ionic strength for surface waters. Arrows represent chemical evolution of rivers from source downstream. *Science* 170, 1088–1090, Gibbs, R.J. Copyright (1970) by the AAAS.

TABLA 1. ORIGEN SUSTANCIAS DISUELTAS

Tipos	Elemento / Compuesto	Orígenes
<u>Aniones</u>	Ion Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	<b>Lavado de terrenos marinos (y mezcla con agua marina)</b> , ataque de rocas y minerales (evaporitas, sodalita, apatito, etc), de gases y líquidos de emanaciones volcánicas, vertidos urbanos e industriales.
	Ion Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	Lavado de terrenos marinos, oxidación de sulfuros de todo tipo de rocas, concentración en el suelo de aguas de lluvia, <b>disolución de yeso, anhidrita y terrenos yesíferos</b> , actividades urbanas, industriales y agrícolas.
	Ion Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	<b>Disolución de CO<sub>2</sub> atmosférico o del suelo, disolución de calizas y dolomitas</b> (ayudado por CO <sub>2</sub> o por ácidos naturales), hidrólisis de silicatos.
	Ion Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Abonos agrícolas, procesos de nitrificación naturales, agua de lluvia, desarrollo de pozos explosivos, <b>descomposición de materia orgánica y contaminación urbana, industrial y ganadera.</b>
<u>Cationes</u>	Sodio (Na <sup>+</sup> )	<b>Ataque de feldespatos y otros silicatos</b> , lavado de sedimentos marinos, mezcla con agua de mar, disolución de sales evaporitas, contaminación urbana e industrial, concentración en agua de lluvia.
	Potasio (K <sup>+</sup> )	<b>Ataque de ortosa y otros silicatos (micas, arcillas, etc)</b> , disolución de sales potásicas (sylvita, carnalita), agua de lluvia, contaminación minera, industrial y agrícola (abonos).
	Calcio (Ca <sup>++</sup> )	<b>Disolución de calizas, dolomitas, yeso y anhidrita</b> , ataque de feldespatos y otros silicatos cálcicos, disolución de cemento calcáreo de muchas rocas, agua de lluvia
	Magnesio (++)	<b>Disolución de dolomitas y calizas dolomíticas</b> , ataque de silicatos magnésicos y ferromagnésicos, lavado de rocas evaporíticas magnésicas (carnalita), agua de mar, contaminación industrial y minera.

# Normas chilenas vigentes

ELEMENTOS CONSIGNADOS EN CADA NORMA			
ELEMENTO	Nch 409 Agua Potable (ppm)	Nch 1.333 Riego (ppm)	Nch 409 Para Ganado (ppm)
Aluminio		5	
Arsénico	0.05	0.1	0.05
Bario		4	0.1
Berilio		0.1	
Boro		0.75	
Cadmio	0.01	0.01	0.01
Cloruros	250	200	250
Cobre	1	0.2	1
Cromo hexavalente	0.05	0.1	
Flúor	1.5	1	1.5
Hierro	0.3	5	0.3
Litio		2.5	
Magnesio	125		125
Manganeso	0.1	0.2	0.1
Mercurio	0.001	0.001	0.001
Nitrato	10		10
Níquel		0.2	
Plata		0.2	
Plomo	0.05		0.05
Ph mínimo	6		
Ph máximo	8.5		
Sodio		351	
Sólidos disueltos	1000		
Sulfato	250	250	250
Vanadio		0.1	
Zinc	5	2	5

---

***FIN***

---