

# **TEMA 1. EL AGUA NATURAL**

## **1.1.- EL AGUA. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES**

1.1.1. Características del agua

1.2.2. Propiedad disolvente del agua

## **1.2. IMPURIFICACIÓN NATURAL DEL AGUA**

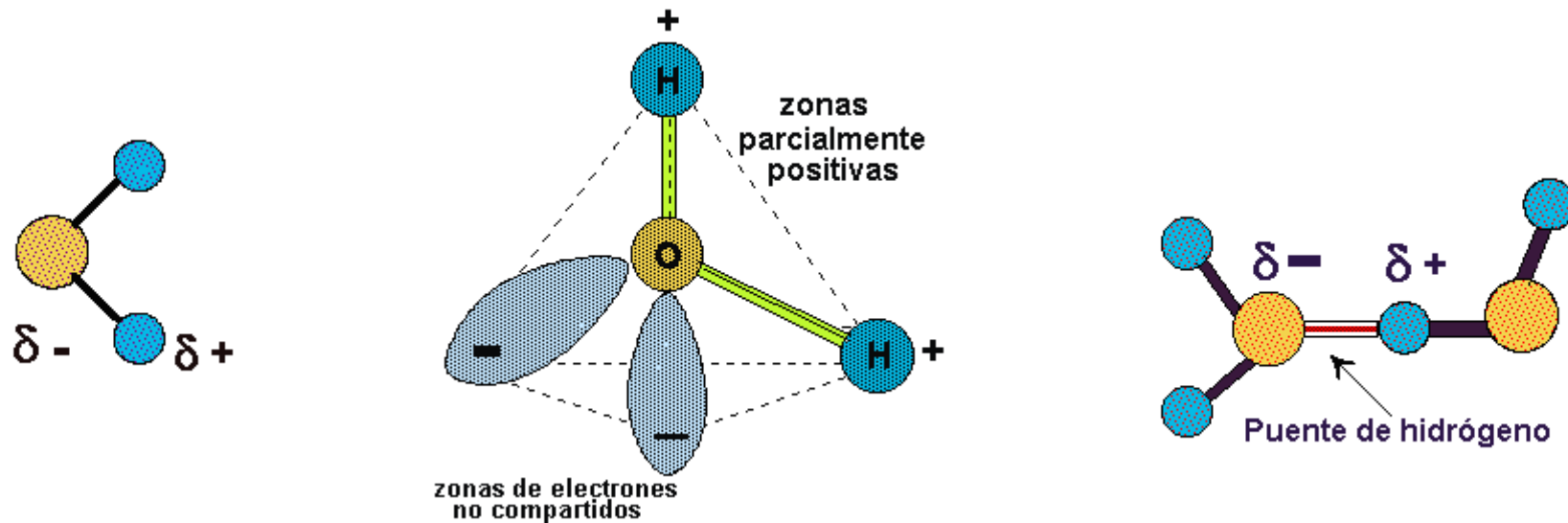
## **1.3. FACTORES QUE INCIDEN EN LA IMPURIFICACIÓN**

## **1.4. CUANTIFICACIÓN DE IMPUREZAS. ÍNDICES DE CALIDAD**

## **1.5. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS Y CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS DESDE EL PUNTO DE VISTA GEOQUÍMICO .**

# EL AGUA NATURAL

## 1.1. EL AGUA. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES



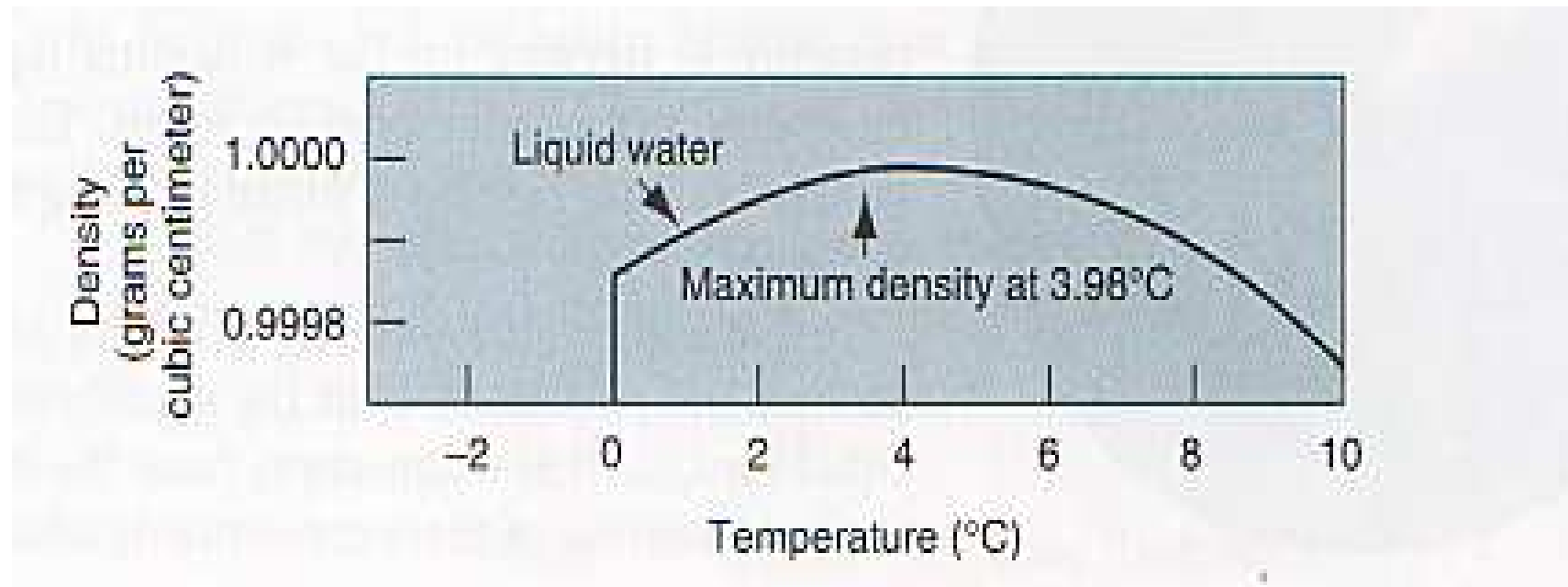
**Puentes de hidrógeno son responsables de muchas propiedades del agua**

## 1.1.1. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA

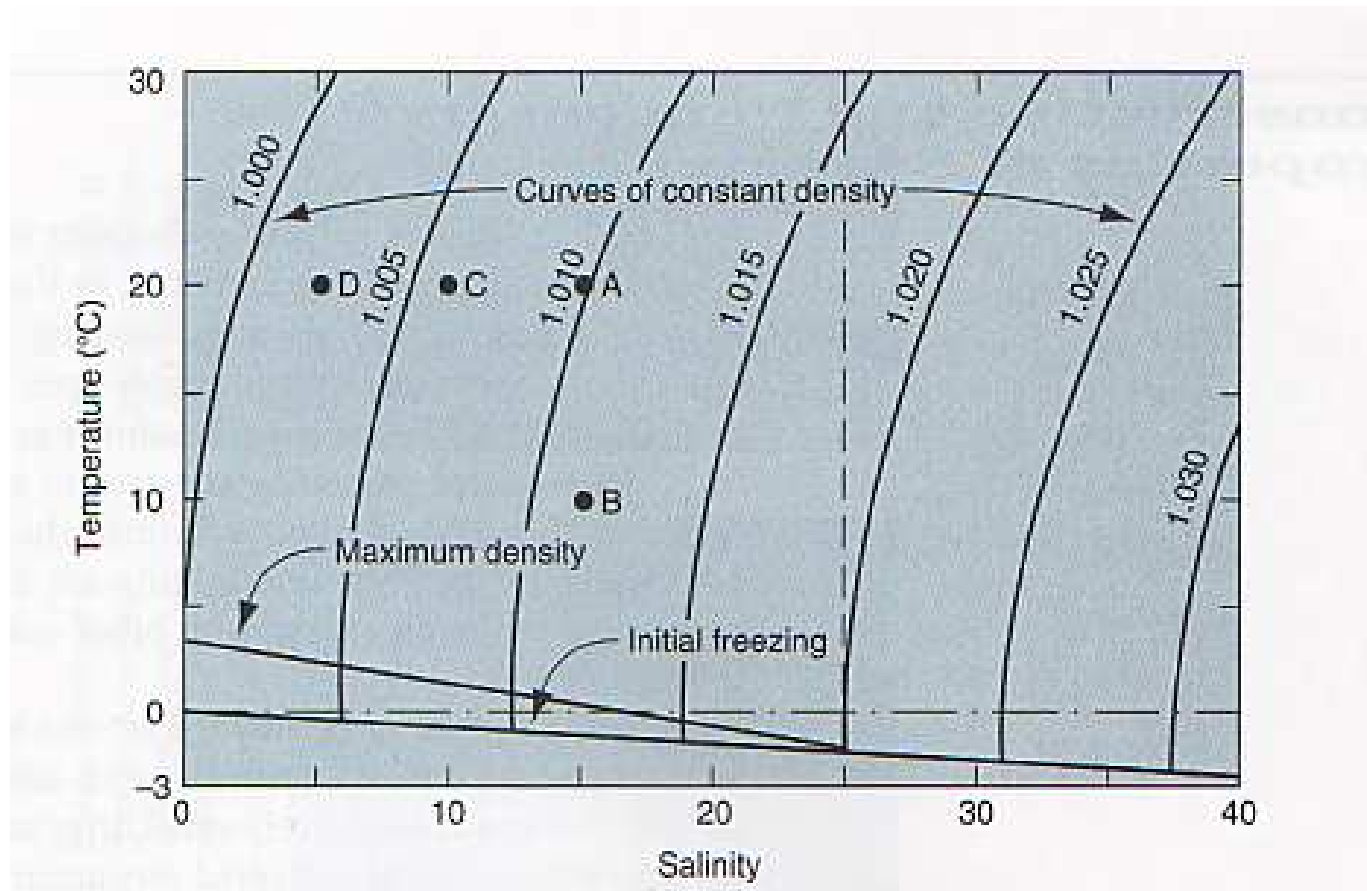
Peso molecular	18,015
Densidad, kg/m <sup>3</sup> (20°C)	998,2
Densidad, kg/m <sup>3</sup> (3.98°C)	1000
Viscosidad dinámica, mN.s/m <sup>2</sup> (20°C)	1,0
Punto de fusión (°C)	0
Punto de ebullición (°C)	100
<b>Calor de fusión, J/g °C</b>	<b>333,75</b>
<b>Calor de vaporización, J/g °C</b>	<b>2260</b>
<b>Calor específico, J/g °C (15°C)</b>	<b>4,19</b>
Tensión superficial, mN/m (20°C)	72,75
Constante dieléctrica	78,30
Conductividad eléctrica específica, μS/m (25°C)	5*10 <sup>-6</sup>

termoreguladores

## Variación de densidad con la temperatura



## Variación de salinidad con temperatura



## COLOR

- Iones metálicos naturales ( hierro y manganeso );Humus, materia orgánica
- Contaminantes domésticos e industriales → industrias de papel, curtido y textil

**Color aparente** → materia en suspensión

**Color verdadero** → materia en solución

**Medida:** 1 mg/L de Platino en la forma de cloroplatinato

## TURBIDEZ

Es la dificultad para transmitir la luz → materiales en suspensión, coloidales o muy finos

**Medida:** Turbidímetros

Comparaciones solución de  $\text{SiO}_2$

Turbidímetro: Jackson (JTU), formacina (UFT)

Nefelómetro: NTU (unidades nefelométricas)

**1 NTU = 1ppm Formacina =7,5 ppm  $\text{SiO}_2$**

Color, turbidez y conductividad → **CALIDAD DEL AGUA**

Elimina → **Coagulación-Floc, sedimentación, Filtración, cloración**

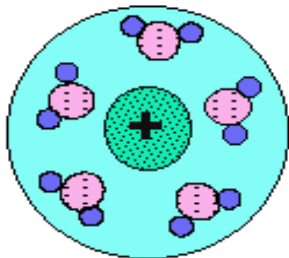
## 1.1.2. PROPIEDAD DISOLVENTE DEL AGUA

El agua es el disolvente universal

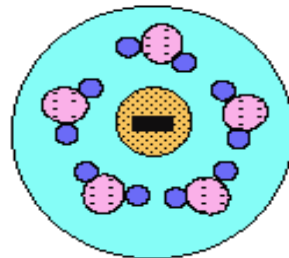
- + Carácter bipolar → gases y sólidos
- + Alta constante dieléctrica (D) → separación de cargas  
(solubilización de sustancias iónicas)
- + puentes de hidrógeno → disolución de compuestos no iónicos pero con carácter polar (alcoholes, azúcares con grupos **R-OH**, aminoácidos)

### *disoluciones iónicas*

#### Capa de solvatación

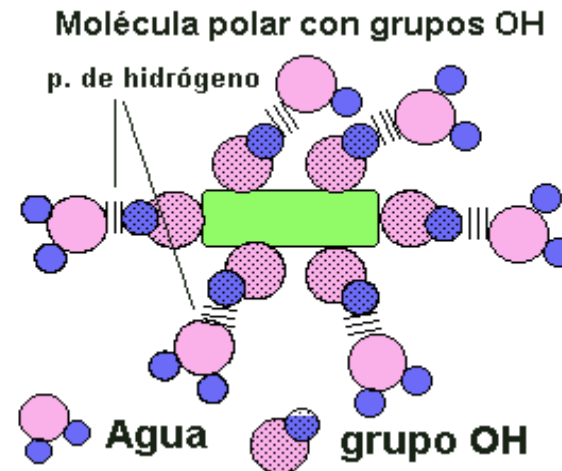


iones de  $\text{Na}^+$



iones de  $\text{Cl}^-$

### *disoluciones moleculares*



## TIPOS DE DISOLUCIONES

- **Sin reacción química**

*Disolución de gases*

*Disolución de líquidos*

*Disolución de sólidos*

- **Con reacción química**

*Hidratación*

*Hidrólisis*

*Redox*

*pH*

- **Reacciones biológicas**



## SOLUBILIDAD DE GASES EN AGUA

**Ley de Henry:**

$$G = \alpha D P$$

**D** = masa específica del gas (kg/m<sup>3</sup>)

**P** = presión parcial del gas (atmósfera) en contacto con el agua

**G** = Solubilidad del gas en kg por m<sup>3</sup> de agua

$\alpha$  = coeficiente de solubilidad

<i>Solubilidad de gases (mL/L) a 1 atmósfera</i>						
	<i>agua dulce</i>			<i>agua del mar</i>		
	0 °C	12 °C	24 °C	0 °C	12 °C	24 °C
Nitrógeno	23	18	15	14	11	9
Oxígeno	47	35	27	38	28	22
CO <sub>2</sub>	1715	1118	782	1438	947	677

## SOLUBILIDAD DE SÓLIDOS EN AGUA

Favorecida por reacciones: ácido-base, redox, hidratación, hidrólisis, etc.

### La velocidad de disolución depende:

- + La concentración del soluto en la masa de agua.
- + La superficie de contacto entre soluto y disolvente.
- + La renovación de la superficie de contacto → turbulencia → se mejora la mezcla.
- + La temperatura:  
↑ temperaturas ↑ energía cinética → ↑ renovación del agua con alta concentración que existe en las proximidades del cristal.

excepciones →  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ,  $\text{SO}_4\text{Ca}$ ,  $\text{CO}_3\text{Mg}$ , y  $\text{Mg}(\text{OH})_2$

## SOLUBILIDAD DE LÍQUIDOS EN AGUA

Depende de la polaridad de las moléculas

Miscibles e inmiscibles

## DISOLUCIÓN CON REACCIÓN QUÍMICA

- Ácido-Base



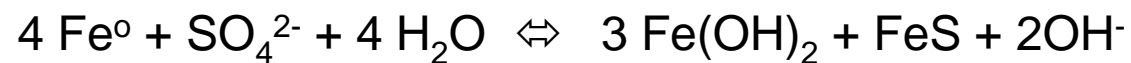
- Hidratación

Iones de metales están ligados en agua con moléculas (hidratado)  $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

- Hidrólisis



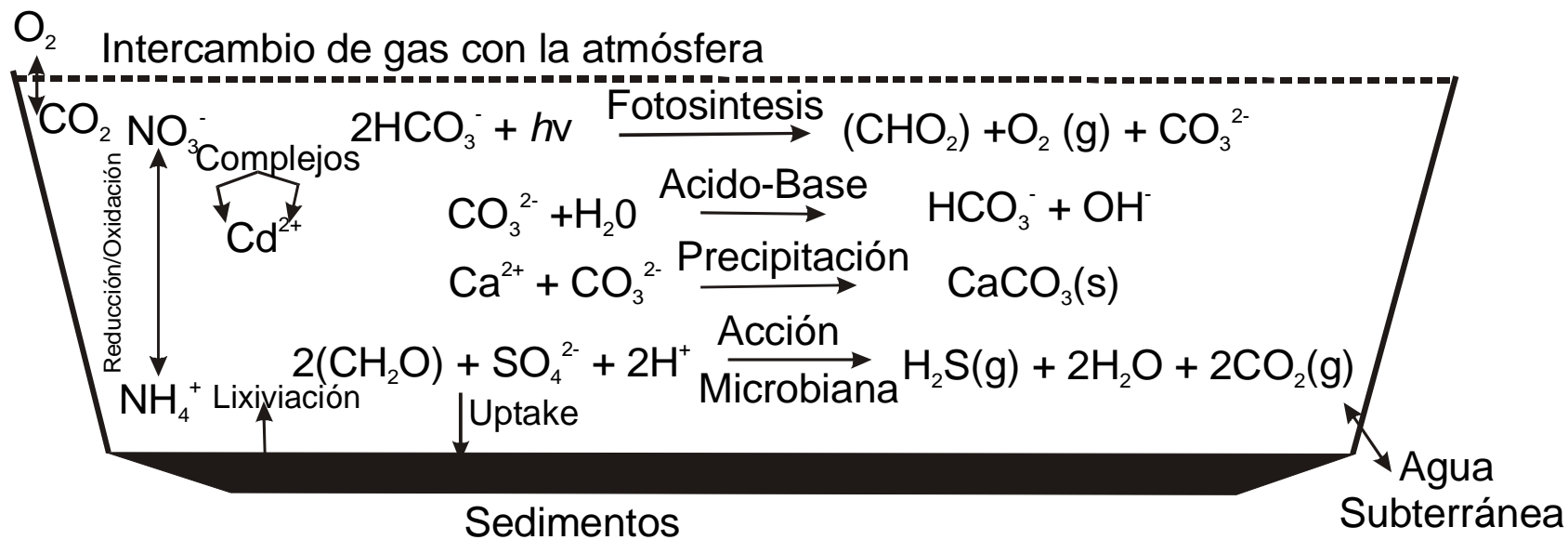
- Redox



- pH



## REACCIONES QUÍMICAS EN DISOLUCIÓN ACUOSA



## 1.2. IMPURIFICACIÓN NATURAL DEL AGUA



### **DISTRIBUCION DE AGUAS EN LA TIERRA**

	Volumen (Km <sup>3</sup> )	Masa (gr)	Porcentaje
Agua de Mar	$1.37 \cdot 10^9$	$1.4 \cdot 10^{24}$	97.2
Hielo	$2.9 \cdot 10^7$	$2.9 \cdot 10^{22}$	2.0
Agua Subterránea	$8.4 \cdot 10^6$	$8.4 \cdot 10^{21}$	0.6
Lagos (A. dulce)	$1.3 \cdot 10^5$	$1.3 \cdot 10^{20}$	0.009
Lagos (A. Salada)	$1.0 \cdot 10^5$	$1.0 \cdot 10^{20}$	0.007
Vapor de Agua	$1.3 \cdot 10^4$	$1.3 \cdot 10^{19}$	0.0009
Ríos	$1.3 \cdot 10^3$	$1.3 \cdot 10^{18}$	0.00009

## COMPOSICIÓN AGUA DE MAR

Constituyentes	mg/kg (ppm)
Cloruros	19000
Sulfatos	2700
Sodio	10500
Potasio	380
Calcio	400
Magnesio	1350
Bromuro	65
Bicarbonato	142
Sólidos disueltos totales	34500
Otros sólidos	34
Agua destilada	1.000 mililitros

- Alta concentración en sales
- pH: 8

## COMPOSICIÓN AGUA DE LLUVIA

Constituyentes, mg/L	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	0,0		1,2	
Al(III)	0,01			
Ca <sup>2+</sup>	0,0	0,65	1,2	3,3
Mg <sup>2+</sup>	0,2	0,14	0,7	0,36
Na <sup>+</sup>	0,6	0,56	0,0	0,97
K <sup>+</sup>	0,6	0,11	0,0	0,23
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,0			0,42
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3		7	0,0
SO <sub>4</sub> <sup>2+</sup>	1,6	2,18	0,7	6,1
Cl <sup>-</sup>	0,2	0,57	0,8	2,0
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,02		0,0	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,1	0,62	0,2	2,2
STD	4,8		8,2	
pH	5,6		6,4	4,4

1, 2, 3, 4 Composición nieve y lluvia en diferentes puntos del Planeta

- Bajas concentración en sales

- pH: 5.5 – 6.5



## COMPOSICIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

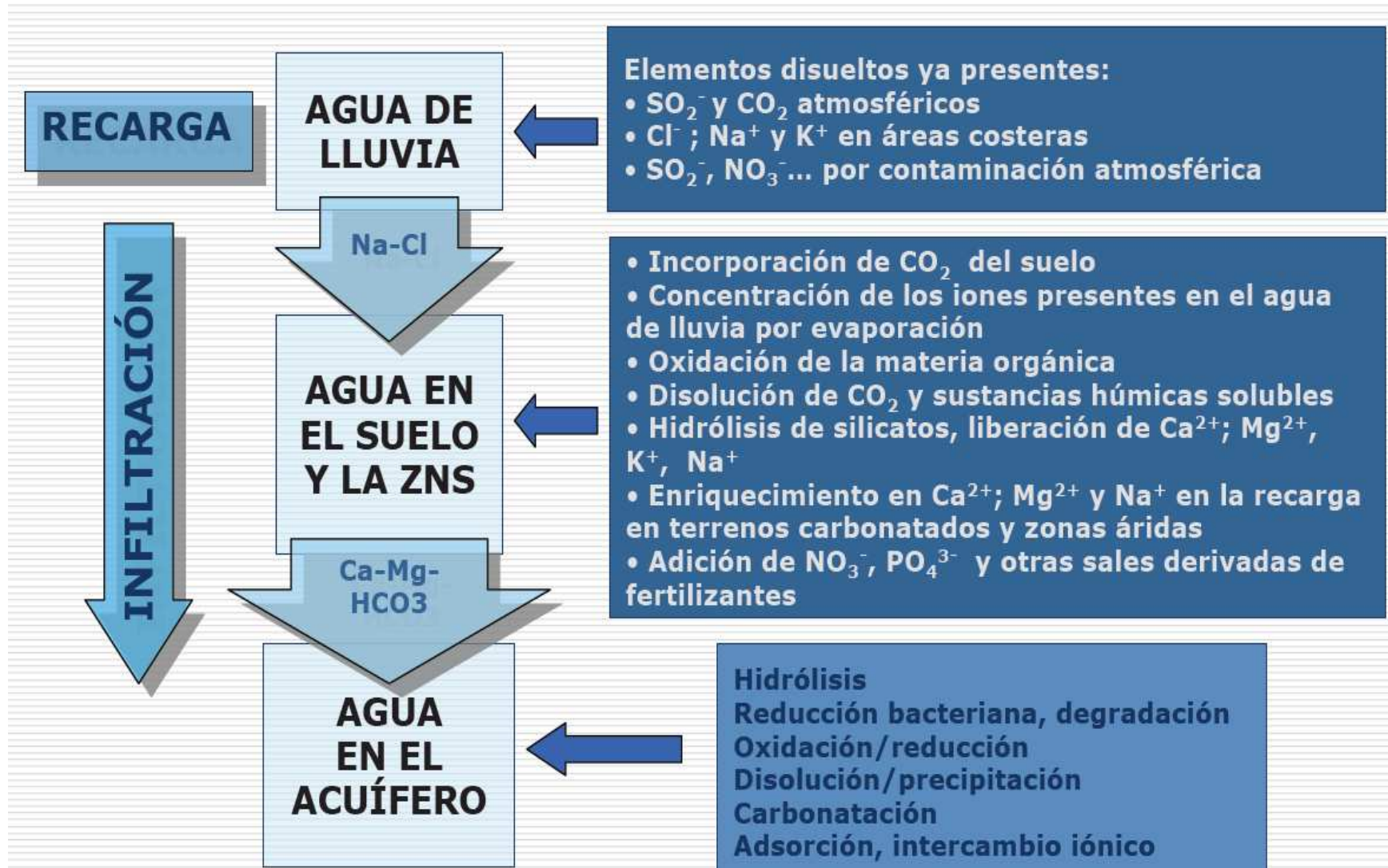
Constituyentes, mg/L	A	B	C
SiO <sub>2</sub>	9,5	1,2	10
Fe(III)	0,07	0,02	0,09
Ca <sup>2+</sup>	4,0	36	92
Mg <sup>2+</sup>	1,1	8,1	34
Na <sup>+</sup>	2,6	6,5	8,2
K <sup>+</sup>	0,6	1,2	1,4
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	18,3	119	339
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1,6	22	84
Cl <sup>-</sup>	2,0	13	9,6
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,41	0,1	13
Sólidos disueltos totales	34	165	434
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	14,6	123	368

**A:** agua superficial , granítica

**B:** agua superficial, arcillosa

**C:** Agua subterránea

# COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS



### 1.3. FACTORES QUE INCIDEN EN LA IMPURIFICACIÓN

- Composición de suelos y terrenos
- Superficie de contacto
- Tiempo de contacto
- Longitud de recorrido
- Concentración de CO<sub>2</sub>
- Concentración de sales
- Capacidad de intercambio iónico
- Evaporación
- Difusión
- Presión y temperatura

## 1.4. CUANTIFICACIÓN DE IMPUREZAS. ÍNDICES DE CALIDAD

### TIPOS DE MEDIDAS:

#### ➤ DIRECTA

INDIVIDUAL: OD,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , pH....

AGRUPADA: Dureza, alcalinidad, residuo seco

#### ➤ INDIRECTA → Conductividad, medida de sales

### FORMA DE EXPRESAR LA CONCENTRACIÓN:

mg/L (ppm),  $\mu\text{g/L}$  (ppb), meq/L, mol/L

## MEDIDA DIRECTA INDIVIDUAL

### pH

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

La escala de pH : 0 a 14.

- “neutralidad” →  $\text{pH} = 7$ .
- Carácter “ácido” implica que su  $[\text{H}^+] > [\text{OH}^-]$  →  $\text{pH} < 7$ .
- Carácter “básico” →  $\text{pH} > 7$ .

**AGUAS NATURALES** → pH entre 6 y 9

# MEDIDA DIRECTA AGRUPADA

## DUREZA

“Cantidad de sales disueltas de calcio y magnesio, principalmente”

**Dureza Total (TH):** mide el contenido total de calcio y magnesio → THCa  
THMg

**Dureza Temporal (TAC):** mide el contenido de carbonatos y bicarbonatos de Ca y Mg. "Dureza de Carbonatos".

**Dureza Permanente:** mide las sales (sulfatos y cloruros) de Ca y Mg, después de someter a ebullición el agua. "Dureza de No carbonatos".

$1 \text{ meq} = 5^\circ\text{F} = 50 \text{ mg/L como } \text{CO}_3\text{Ca}$

$1 \text{ grado francés} = 10 \text{ mg/L } \text{CO}_3\text{Ca} = 0.2 \text{ meq}$

$1 \text{ mg/L } \text{CO}_3\text{Ca} = 0.02 \text{ meq} = 0.1^\circ\text{F}$

Dureza , mg/L CaCO <sub>3</sub>	Interpretación
0- 50	Agua suave, blanda
50-100	Duras
100-200	Moderadamente duras
>200	Muy duras

**PROBLEMAS:** Incrustaciones, lavado, cocción

**TRATAMIENTOS:** Ablandamiento o desmineralización

# MEDIDA DIRECTA AGRUPADA

## ALCALINIDAD

**“Una medida para determinar la capacidad de neutralizar ácidos”**

iones bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), y en menor medida los oxhidrilo ( $\text{OH}^-$ ), fosfatos, ácido silícico u otros ácidos de carácter débil

**- ALCALINIDAD TOTAL O TÍTULO ALCALIMÉTRICO COMPLETO, TAC**

viraje del naranja de metilo, a pH entre 4.4 y 3.1 → **alcalinidad *m***,

**- ALCALINIDAD SIMPLE O TÍTULO ALCALIMÉTRICO, TA**

viraje de la fenoftaleína, a pH entre 9.8 y 8.2 → **alcalinidad *p***.

**MEDIDA → mg/L  $\text{CO}_3\text{Ca}$**

**TRATAMIENTOS:** descarbonatación con cal, tratamiento con ácido o desmineralización

## MEDIDA DIRECTA AGRUPADA

### RESIDUO SECO (mg/L)

- El **residuo seco (ST)** es el peso de materiales después de evaporar un volumen de agua y secar el residuo a 105 °C “**contenido total de sales**”
- Si se filtra tendremos en contenido total de **sales disueltas (SDT)**

	Residuo seco(mg/L)	Sólidos disueltos (mg/L)
Aguas dulces	0-2000 ( a veces hasta 3000)	< 1000
Aguas salobres	5000 ( a veces hasta 10000)	1000-15000
Aguas saladas	40000 ( a veces hasta 100000)	35000
Salmueras	Hasta saturación	

→ Existen relaciones lineales entre SDT y contenido en sales disueltas

ejemplo: para aguas potables, de uso industrial y de generadores de vapor:

$$SDT = 10 TAC + NaCl \text{ ppm} + 1.48 SO_4^{2-} \text{ ppm}$$

TAC = alcalinidad total

1 grado TAC = 10 mg/L CaCO<sub>3</sub>



# MEDIDA INDIRECTA

## CONDUCTIVIDAD

”Es la medida de la capacidad de un agua para conducir la electricidad”

- Es indicativa de la materia ionizable total presente en el agua.

Muestra a la temperatura de 25 ° C	Conductividad, $\mu\text{S/cm}$
Agua ultrapura	0,05
Agua de alimentación a calderas	1 a 5
Agua potable	50 a 100
Agua de mar	53.000
5 % NaOH	223.000
50 % NaOH	150.000
10 % HCl	700.000
32 % de HCl	700.000
31 % HNO <sub>3</sub>	865.000



Conductividad	Interpretación
< 400	Buena calidad
400-750	Aceptable
750-1500	Mediocre
>3000	Muy mineralizadas

**MEDIDA** → microsiemens por centímetro ( $\mu\text{S/cm}$ )

Relación entre la cantidad de sales disueltas y la conductividad

$$\text{SDT (mg/L)} = \text{C (}\mu\text{S/cm)} * \text{f}$$

f = coeficiente que oscila entre 1,4 a 0,70

## COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS NATURALES (HIDROQUÍMICA)

- Componentes mayoritarios (concentraciones superiores a 5 mg/L)

<i>Aniones</i>	<i>Cationes</i>
Cloruro Cl <sup>-</sup>	Sodio Na <sup>+</sup>
Sulfato SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Calcio Ca <sup>2+</sup>
Bicarbonato HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Magnesio Mg <sup>2+</sup>

- Componentes minoritarios (concentraciones de 10 - 0,1 mg/L)

<i>Aniones</i>	<i>Cationes</i>
Nitrato NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Potasio K <sup>+</sup>
Carbonato CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Hierro (II) Fe <sup>2+</sup>
Nitrito NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Amonio NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Flúor F <sup>-</sup>	Estroncio Sr <sup>2+</sup>

- Componentes trazas (concentraciones inferiores a 0,1 mg/L): Br<sup>-</sup>, S<sup>2-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, BO<sub>3</sub>H<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, OH<sup>-</sup>, I<sup>-</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, H<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup> y metales como As, Sb, Cr, Pb, Cu, Zn, Ba, V, Hg, U, etc.

## Valores representativos de composición de las aguas naturales

Aniones	Agua lluvia	Agua mar	Agua subterránea
Cloruro	0-20 mg/l	20000 mg/l	10-250 mg/l
Sulfato	0-10 mg/l	3000 mg/l	10-300 mg/l
Bicarbonato	0-20 mg/l	120 mg/l	50-350 mg/l
Nitrato	0 - 5 mg/l	1 mg/l	0-300 mg/l (contam)
Bromuro	0 mg/l	65 mg/l	0 - 2 mg/l
<b>Cationes</b>			
Sodio		10000 mg/l	5 -150 mg/l
Calcio		400 mg/l	10-250 mg/l
Magnesio		1200 mg/l	1 - 75 mg/l
Potasio		400 mg/l	1 - 10 mg/l
Estroncio		13 mg/l	0 - 1 mg/l
<b>Otras caract.</b>			
Conductividad		45000 $\mu$ S/Cm	100-200 $\mu$ S/cm

## 1.5. REPRESENTACIÓN GRAFICA DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS

### Desde el punto de vista geoquímico

#### ❖ **Balance iónico:**

Diagramas divariantes

Diagramas de barras Collins

Diagramas circulares

Diagrama de Stiff modificado

Diagrama radial

#### ❖ **Clasificación según iones dominantes: Diagramas de Piper**

❖ Clasificación según la dureza

❖ Clasificación por residuo seco y sales disueltas

❖ **Carácter agresivo-incrustante**

Permiten obtener una visualización sencilla y lo más completa posible de composición y características químicas de las aguas

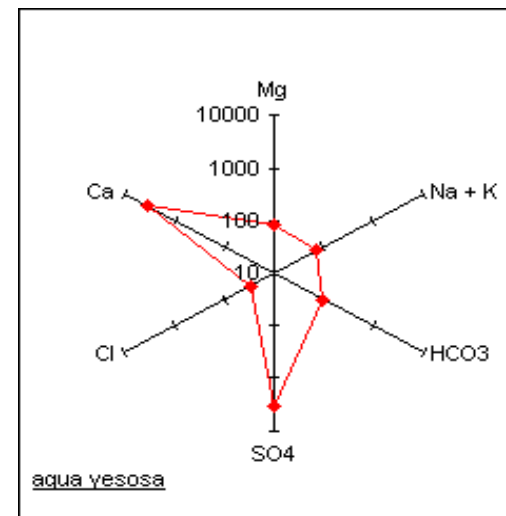
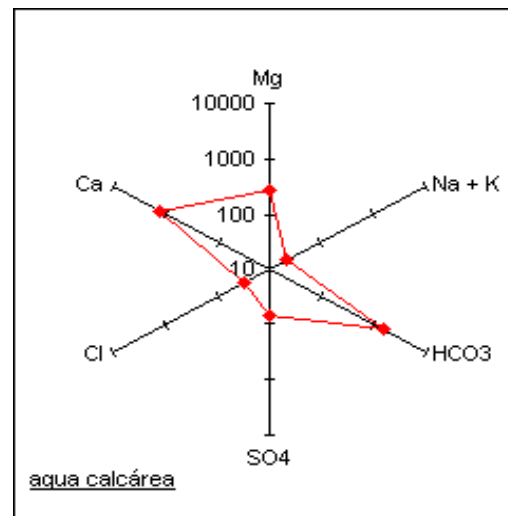
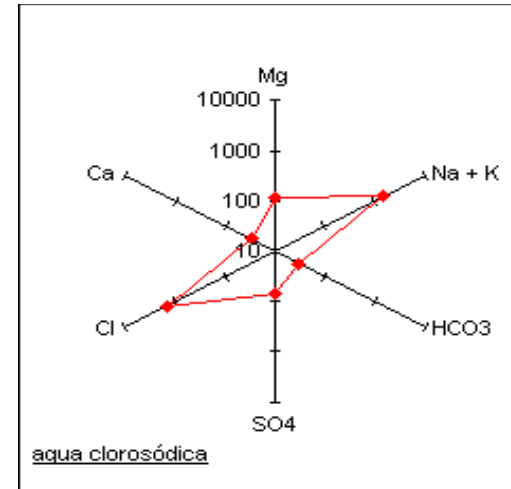
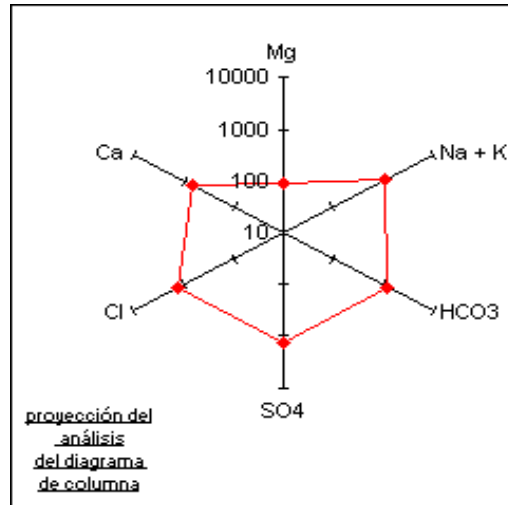
## BALANCE IÓNICO

- ✓ Iones mayoritarios procedentes de la disolución de las sales (meq/L)
- ✓ Cationes se eligen: Ca, Mg, Na, k y aniones: carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos.
- ✓ El exceso de aniones o de cationes indicaría la presencia de una posible contaminación en el medio.

## REPRESENTACIÓN DE LOS ANIONES Y CATIONES

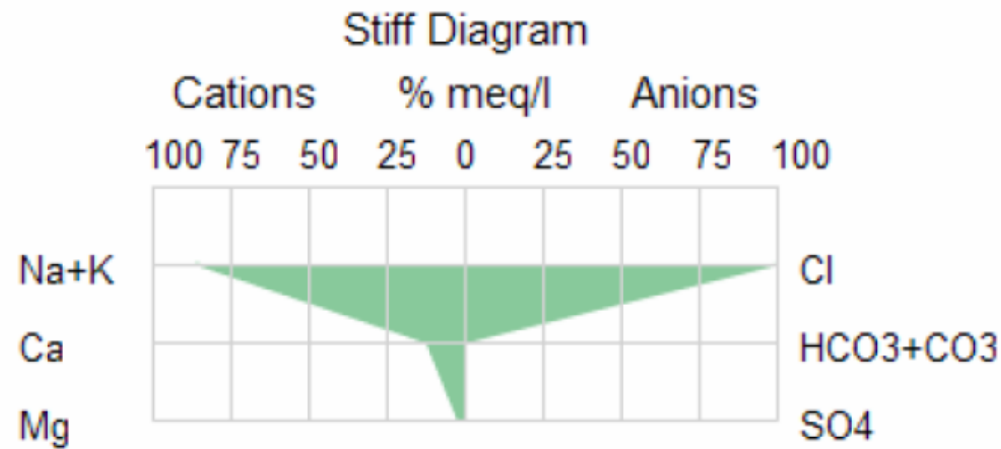
- Diagrama de columna  $\Rightarrow$  en mg/L o el porcentaje de los iones
- Diagrama de coordenadas radiales  $\Rightarrow$  observando la forma de la "estrella".

# DIAGRAMA DE COORDENADAS RADIALES - ESTRELLA

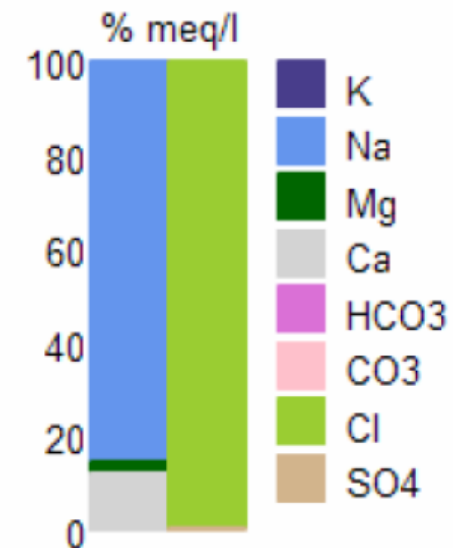


## Diagrama de Stiff modificado

Unit	Ca	Mg	Na	K	Cl	Br	I	SO4	HCO3	CO3
mg/l	4350	450	34965		62800			101	98	
meq/l	217.07	37.04	1520.88		1771.51			2.1	1.61	
%meq/l	12.23	2.09	85.68		99.79			0.12	0.09	

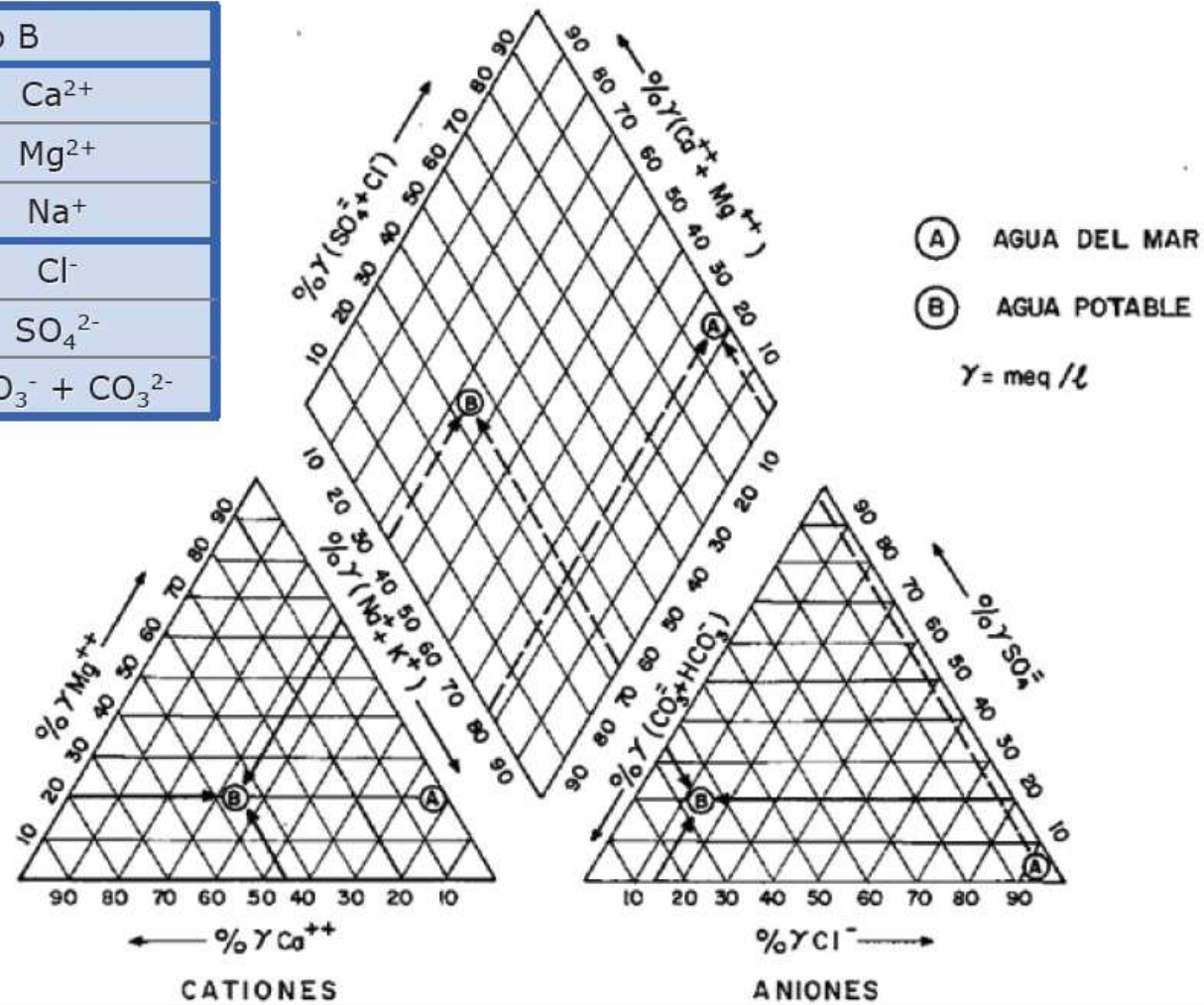


Collins Bar Diagram



## Diagrama de Piper-Hill-Langelier:

Punto B	
45%	Ca <sup>2+</sup>
20%	Mg <sup>2+</sup>
35%	Na <sup>+</sup>
15%	Cl <sup>-</sup>
20%	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
65%	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>





## ■ Diagrama de Piper-Hill-Langelier:

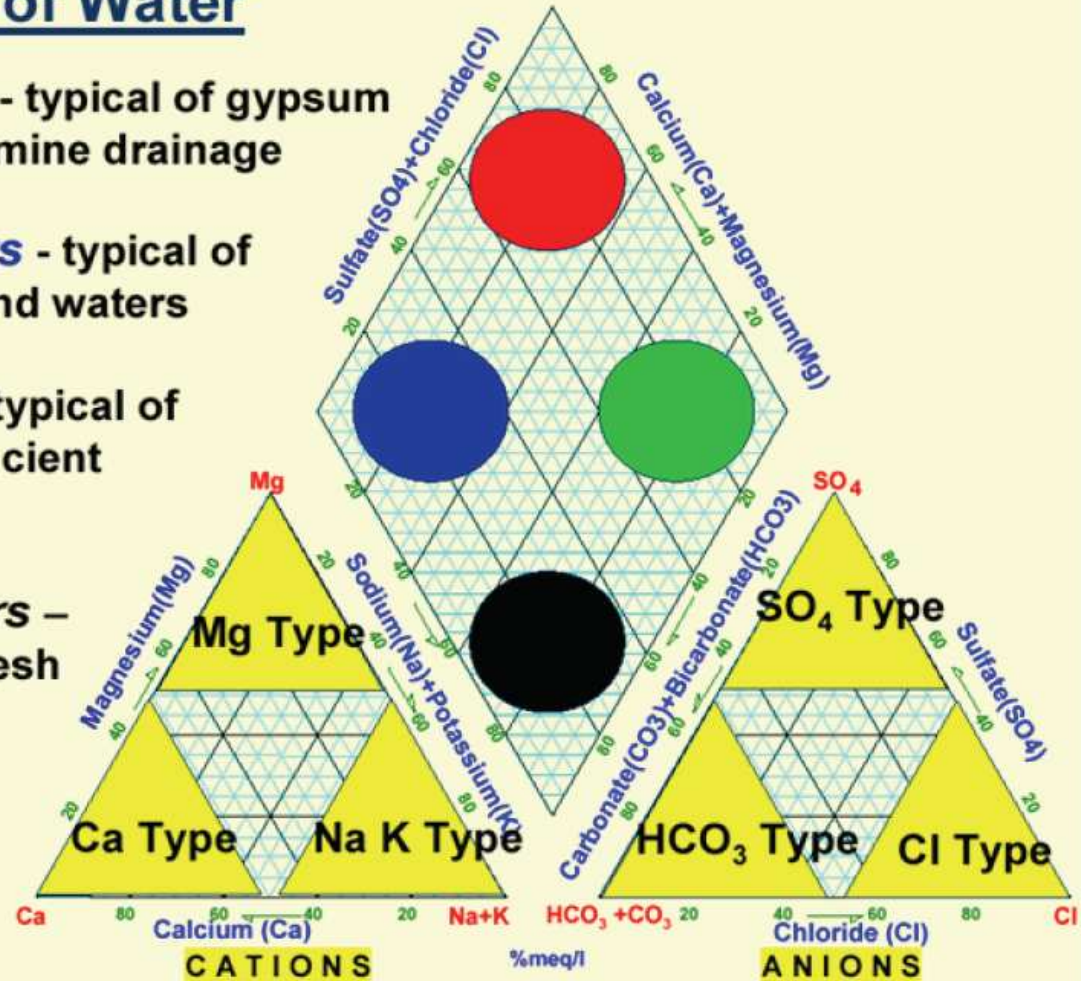
### Classification of Water

● **Ca-SO<sub>4</sub> waters** - typical of gypsum ground waters and mine drainage

● **Ca-HCO<sub>3</sub> waters** - typical of shallow, fresh ground waters

● **Na-Cl waters** - typical of marine and deep ancient ground waters

● **Na-HCO<sub>3</sub> waters** - typical of deeper fresh ground waters influenced by ion exchange



## CLASIFICACIÓN SEGÚN CARÁCTER AGRESIVO INCRUSTANTE

### Método para el cálculo del Índice de Langelier (IL)

$$\text{LSI (IL)} = \text{pH}_A - \text{pH}_S$$

$\text{pH}_A$  = pH actual del agua

$\text{pH}_S$  = pH de saturación o pH al cual se logra el equilibrio carbónico del agua

$$\text{pH}_S = (9,3 + A + B) - (C + D)$$

$$A = (\text{Log} [\text{TDS}] - 1)/10$$

$$B = -13,12 \times \text{Log} (^\circ\text{C} + 273) + 34,55$$

$$C = \text{Log} [\text{Ca}^{+2} \text{ como } \text{CaCO}_3] - 0,4$$

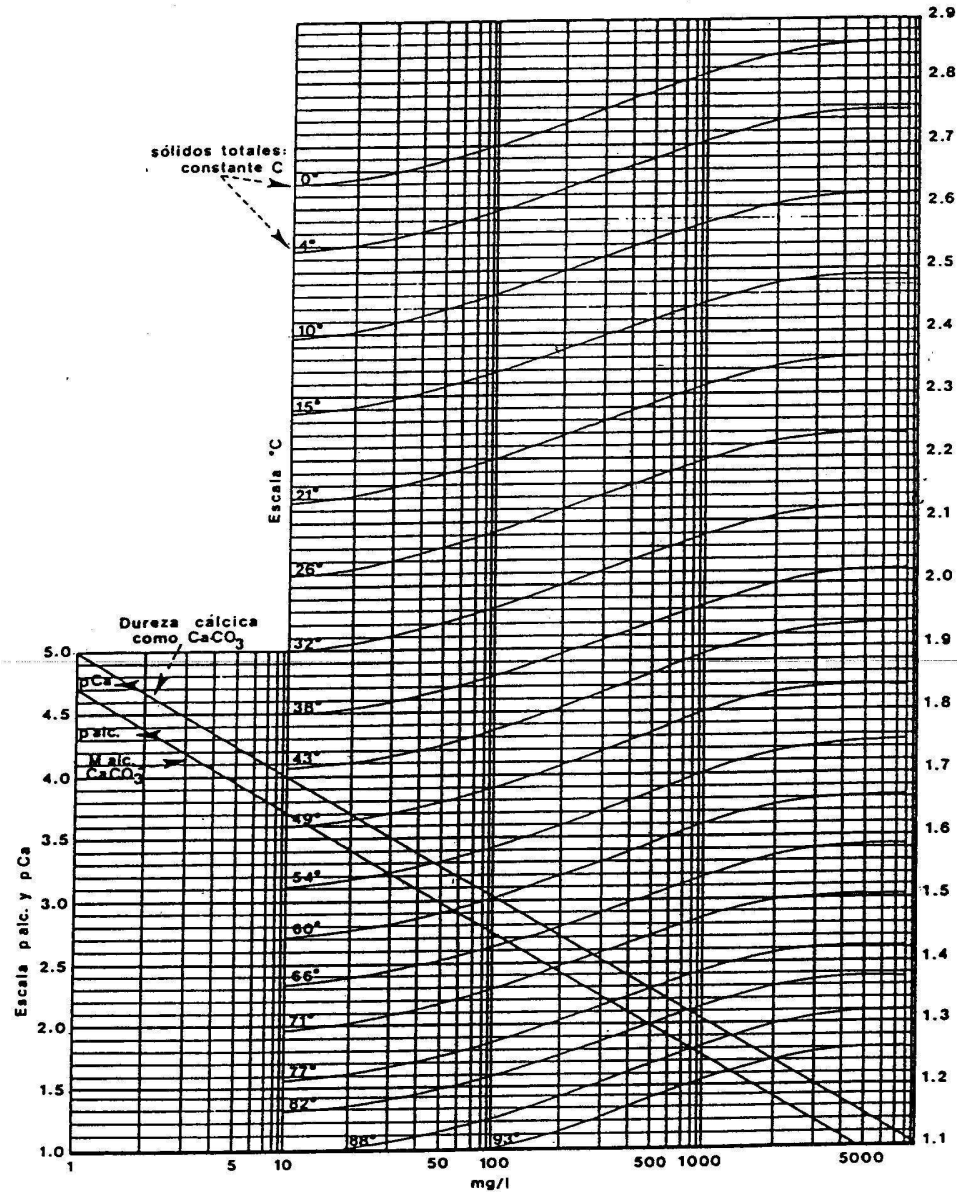
$$D = \text{Log} [\text{Alcalinidad como } \text{CaCO}_3]$$

# CLASIFICACIÓN SEGÚN CARÁCTER AGRESIVO INCRUSTANTE

## Método gráfico

$$pH_s = pCa + pAlc + C$$

Indice de saturación de Langelier.



## CLASIFICACIÓN SEGÚN CARÁCTER AGRESIVO INCRUSTANTE

### Interpretación de los resultados según Índice de Langelier (IL)

Si  $IL = 0$  agua en equilibrio químico

Si  $IL < 0$  agua con tendencia a ser corrosiva

Si  $IL > 0$  agua con tendencia incrustante

IL	Carácter
> 1,5	muy incrustante
1,0 a 1,5	Incrustante
0,5 a 1,0	Débilmente incrustante
0,5 a - 0,5	Prácticamente en equilibrio
- 0,5 a -1,0	Débilmente agresiva
- 1,0 a -1,5	Agresiva
< -1,5	Muy agresiva