

# TECNOLOGÍA Y SERVICIOS INDUSTRIALES 1

- AGUA PARA LA INDUSTRIA

Docentes:

Daniel Ghislieri ([danielg@fing.edu.uy](mailto:danielg@fing.edu.uy))

Verónica Díaz ([verodiaz@fing.edu.uy](mailto:verodiaz@fing.edu.uy))

- COMBUSTIÓN

Docente:

Luis Travieso ([travisan@adinet.com.uy](mailto:travisan@adinet.com.uy))

# BIBLIOGRAFÍA

- Marks R.H., "Water Treatment", Parte I, Power Special Report, Dic. 1958.
- Marks R.H., "Water Treatment", Parte II, Power Special Report, Mar. 1959
- Betz, "Handbook of Industrial Water Conditioning", 8th Ed., 1980
- Sawyer, Mc Carty, "Chemistry for Environmental Engineering", Mc Graw Hill, 1978.
- Nordell, E., "Tratamiento de Agua para la Industria y otros usos", Reinhold, CECSA, 1963.
- Nalco, "The Nalco Water Handbook", 2nd. Ed., 1988
- Hammer, P., Jackson, J., Thurston, E.F., "Industrial Water Treatment Practice", Butterworths, 1961.
- "Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater", American Public Health Assoc., American Water Works Assoc., Water Pollution Control Federation, 14th Ed. 1976.

# PROPIEDADES DEL AGUA NATURAL

- GRAN RANGO EN EL QUE PERMANECE EN ESTADO LIQUIDO
- PUNTOS ALTOS DE FUSION Y VAPORIZACIÓN
- ALTOS CALORES DE FUSIÓN Y VAPORIZACIÓN
- EXCELENTE SOLVENTE POLAR

# RESERVAS MUNDIALES DE AGUA

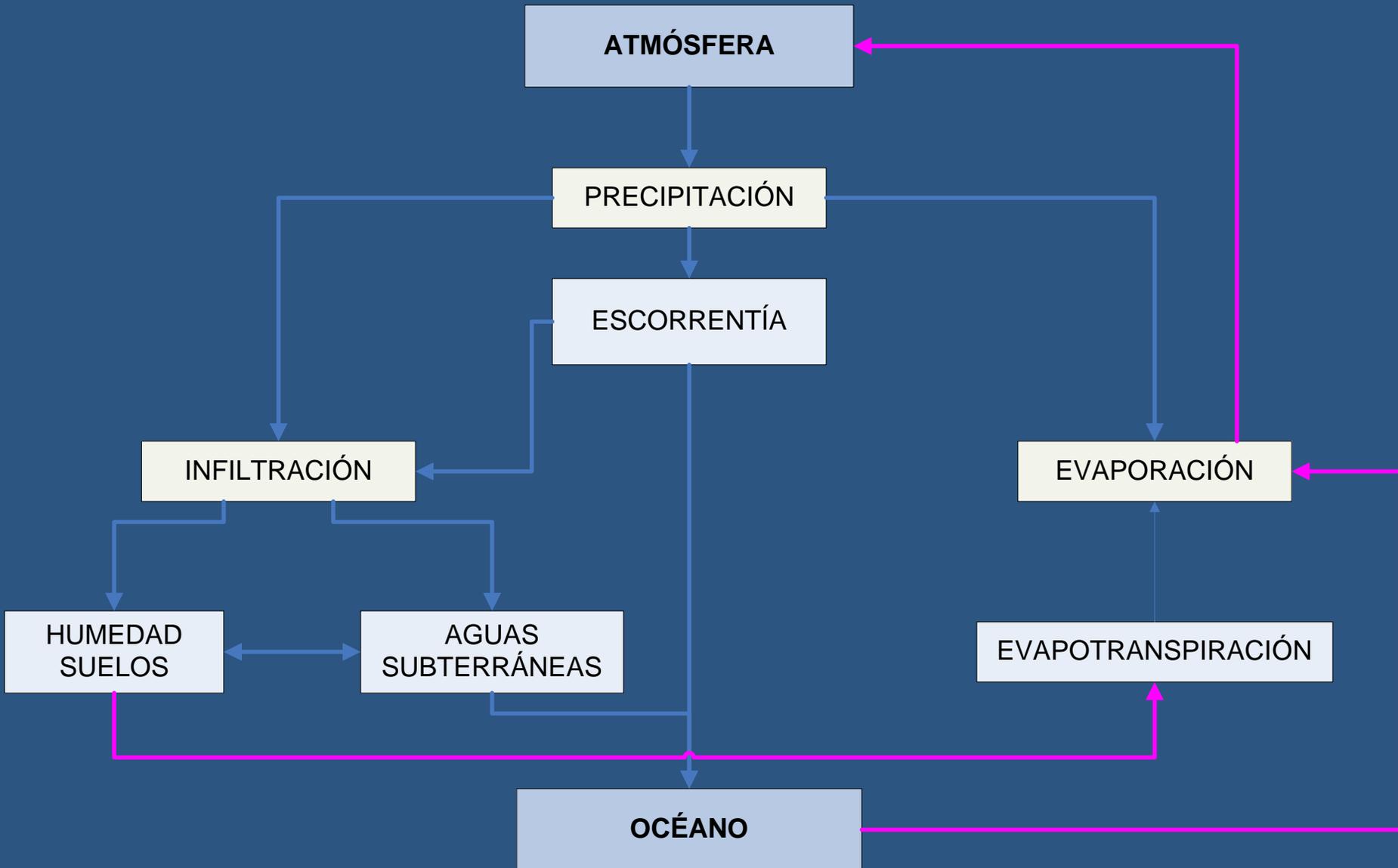
Océanos	97.39 %
Aguas Continentales	2.61%
Casquetes polares, glaciares	1.83%
Lagos agua dulce	0.0093%
Lagos agua salada	0.0063%
Gastos de los ríos	0.00002%
Zona de raíces (suelos)	0.00094%
Aguas subterráneas (h < 750m)	0.339%
Aguas subterráneas (750 <h < 3800m)	0.424%
Agua Atmosférica	0.001%

# RESERVAS MUNDIALES DE AGUA

EN FORMA RESUMIDA:

- 97 % Agua oceánica
- 2 % Agua glaciares
- 1 % Agua fresca utilizable por el hombre

# CICLO HIDROLÓGICO



# PRINCIPALES CONSTITUYENTES DEL AGUA NATURAL

- **SUSTANCIAS DISUELTAS**
- **SUSTANCIAS SUSPENDIDAS**
- **GASES DISUELTOS**
- **MICROORGANISMOS**

# SUSTANCIAS DISUELTAS

ANIONES:



CATIONES:



MATERIA ORGÁNICA SOLUBLE

# SUSTANCIAS DISUELTAS

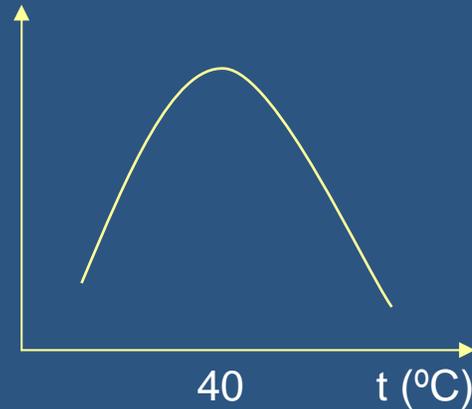
## BICARBONATOS



# SUSTANCIAS DISUELTAS

## SULFATOS

$\text{CaSO}_4$ :



$\text{MgSO}_4$  : sal muy soluble

$\text{Na}_2\text{SO}_4$  : sal muy soluble

# SUSTANCIAS DISUELTAS

## CLOURUROS



## SILICATOS

Fe, Mn

# SUSTANCIAS SUSPENDIDAS

## ORIGEN:

INORGÁNICAS (arcillas, limo, carbonato de calcio, sílice, hidróxido de hierro (III), azufre coloidal)

ORGÁNICAS (vegetales finamente divididos, aceites y grasas, algas, microorganismos)

# SUSTANCIAS SUSPENDIDAS

EFFECTOS:

SEDIMENTO

TURBIDEZ

# GASES DISUELTOS



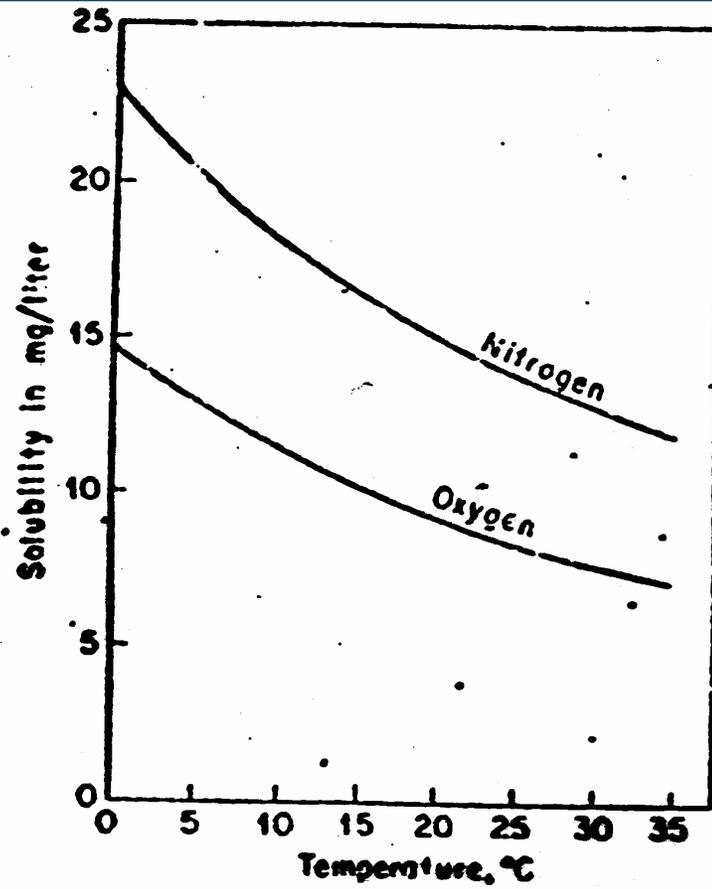
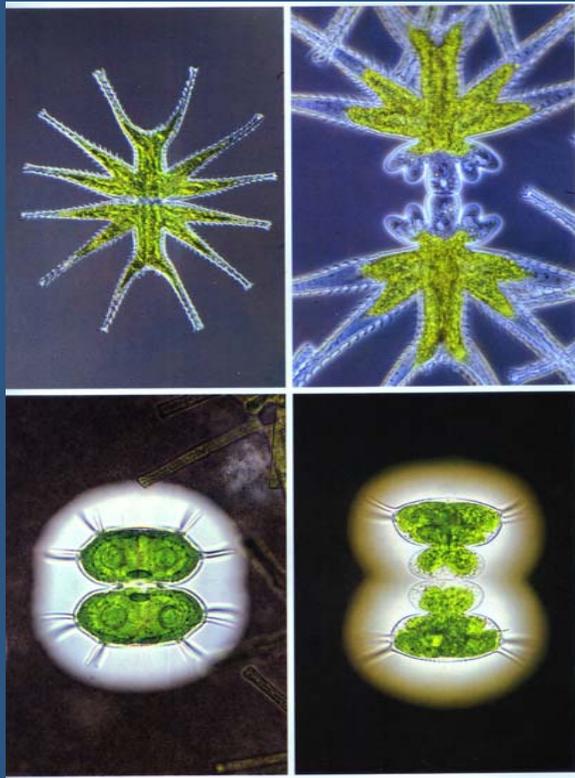


Figure 21-1 Solubility of atmospheric nitrogen in distilled water saturated with air at 760 mm Hg.

Temperatura, C	Oxígeno disuelto (mg/l) para concentraciones establecidas de cloruro (mg/l)					Diferencia por 1,000 mg/l de cloruro
	0	5,000	10,000	15,000	20,000	
0	14.7	13.8	13.0	12.1	11.3	0.165
1	14.3	13.5	12.7	11.9	11.1	0.160
2	13.9	13.1	12.3	11.6	10.8	0.154
3	13.5	12.8	12.0	11.3	10.5	0.149
4	13.1	12.4	11.7	11.0	10.3	0.144
5	12.8	12.1	11.4	10.7	10.0	0.140
6	12.5	11.8	11.0	10.4	9.8	0.135
7	12.1	11.5	10.8	10.2	9.6	0.130
8	11.8	11.2	10.6	10.0	9.4	0.125
9	11.6	11.0	10.4	9.7	9.1	0.121
10	11.3	10.7	10.1	9.5	8.9	0.118
11	11.0	10.4	9.9	9.3	8.7	0.014
12	10.8	10.2	9.7	9.1	8.6	0.110
13	10.5	10.0	9.4	8.9	8.4	0.107
14	10.3	9.7	9.2	8.7	8.2	0.104
15	10.0	9.5	9.0	8.5	8.0	0.100
16	9.8	9.3	8.8	8.4	7.9	0.098
17	9.6	9.1	8.7	8.2	7.7	0.095
18	9.4	9.0	8.5	8.0	7.6	0.092
19	9.2	8.8	8.3	7.9	7.4	0.089
20	9.0	8.6	8.1	7.7	7.3	0.088
21	8.8	8.4	8.0	7.6	7.1	0.086
22	8.7	8.3	7.8	7.4	7.0	0.084
23	8.5	8.1	7.7	7.3	6.8	0.083
24	8.3	7.9	7.5	7.1	6.7	0.083
25	8.2	7.8	7.4	7.0	6.5	0.082
26	8.0	7.6	7.2	6.8	6.4	0.080
27	7.9	7.5	7.1	6.7	6.3	0.079
28	7.7	7.3	6.9	6.5	6.2	0.078
29	7.6	7.2	6.8	6.4	6.1	0.076
30	7.4	7.1	6.7	6.3	6.0	0.075

\* Véase Sec. 23-6 para la definición de la información. Para presiones barométricas diferentes de 760 mm de Hg, las solubilidades varían aproximadamente en proporción a la relación de la presión actual a la presión estándar.

# MICROORGANISMOS

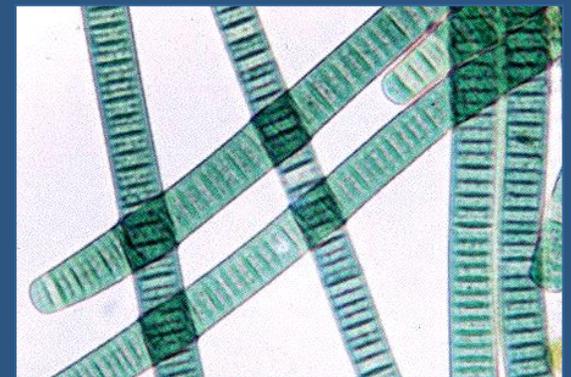


clorofitas



bacterias

cianobacteria



# DEFINICIONES DE TRABAJO

Impurezas en el agua natural

- ~ 1000 mg/L
- 0.1 %
- pureza 99.9 %

# DEFINICIONES DE TRABAJO

- mg/L
- p.p.m.
- "mg/L en CaCO<sub>3</sub>"

$$(mg / L)M_{enCaCO_3} = (mg / L)M \times \frac{P.E.CaCO_3}{P.E.M}$$

# DEFINICIONES DE TRABAJO

	mg/L	meq/L	mg/L en CaCO <sub>3</sub>
Ca	40	2	100
CaO	56	2	100
CaCO <sub>3</sub>	100	2	100
Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	162	2	100
CaCl <sub>2</sub>	111	2	100
CaSO <sub>4</sub>	136	2	100
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	164	2	100

# SELECCION DEL VALORANTE

$$V_1 \times N_1 = V_2 \times N_2$$

$$(mg / L)M = \frac{V_2 \times N_2}{V_M} \times P.E.M \times 1000$$

$$(mg / L)M_{enCaCO_3} = (mg / L)M \times \frac{P.E.CaCO_3}{P.E.M}$$

# SELECCIÓN DEL VALORANTE

$$(mg / L)M_{enCaCO3} = \frac{V_2 \times N_2}{V_M} \times P.E.M \times \frac{50}{P.E.M} \times 1000$$

$$(mg / L)M_{enCaCO3} = \frac{V_2 \times N_2}{V_M} \times 50 \times 1000$$

- Si  $N_2 = 1/50$

$$(mg / L)M_{enCaCO3} = \frac{V_2}{V_M} \times 1000$$

# EQUIVALENCIAS

Grado Americano de Dureza < > 1 grain  $\text{CaCO}_3$  / U.S. gallon  
(17.1 ppm en  $\text{CaCO}_3$ )

Grado Inglés de Dureza (Clark) < > 1 grain  $\text{CaCO}_3$  / U.K. gallon  
(14.3 ppm en  $\text{CaCO}_3$ )

Grado Francés de Dureza < > 1 parte  $\text{CaCO}_3$  /  $10^5$  partes agua  
(10 ppm en  $\text{CaCO}_3$ )

Grado Alemán de Dureza < > 1 parte  $\text{CaO}$  /  $10^5$  partes agua  
(17.9 ppm en  $\text{CaCO}_3$ )

Grado Ruso de Dureza < > 1 parte  $\text{Ca}$  /  $10^6$  partes agua  
(2.5 ppm en  $\text{CaCO}_3$ )

# SÓLIDOS TOTALES

*SÓLIDOS TOTALES*: materia que permanece como residuo de evaporación y secado a 103 – 105 °C.

*SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS*: idem anterior, realizado sobre una muestra previamente filtrada.

# SÓLIDOS TOTALES

Según la definición

Medidas de Conductividad

Cálculo a través del Análisis

# ALCALINIDAD

Capacidad de un agua para neutralizar ácidos

# ALCALINIDAD



# ALCALINIDAD

ALCALINIDAD 'P' (a la Fenolftaleína)

$$P = \frac{mL_{H_2SO_4}}{mL_{muestra}} \times 1000 \quad (\text{hasta pH} = 8.3)$$

con  $N_{H_2SO_4} = 1/50$

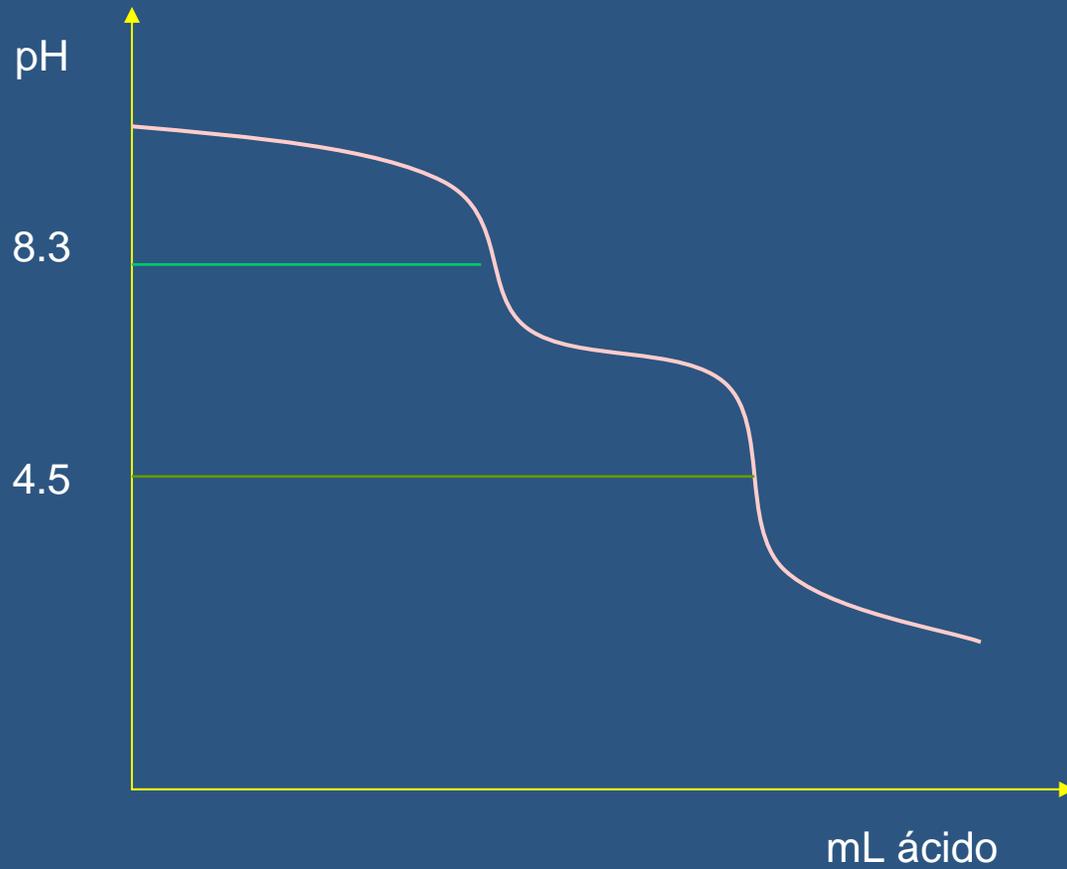
# ALCALINIDAD

ALCALINIDAD 'M' (al Naranja de Metilo)

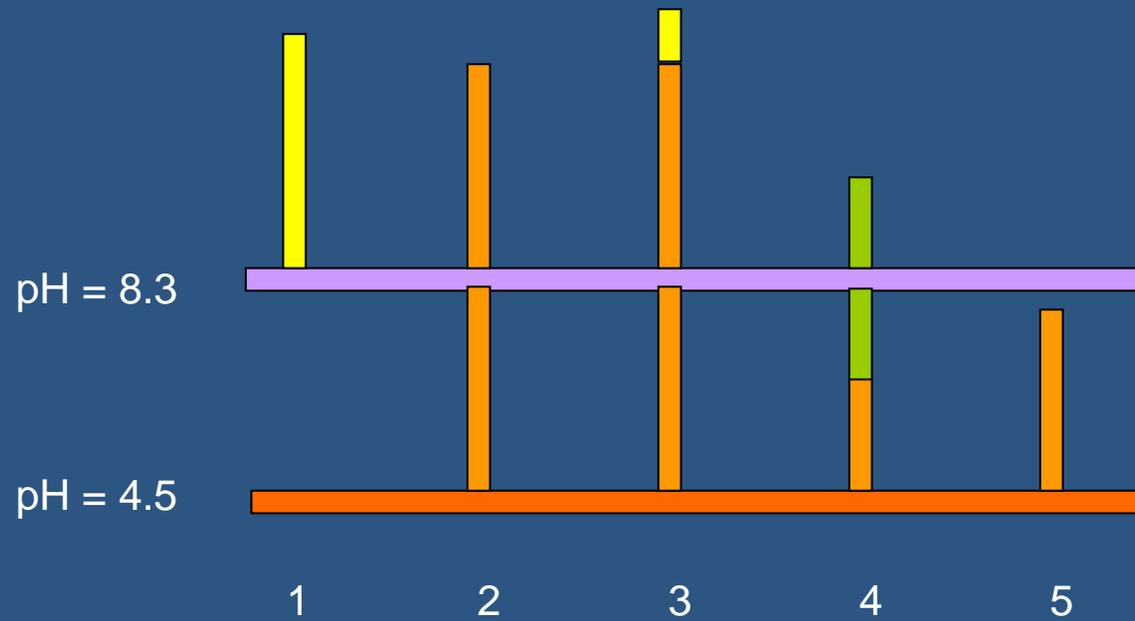
$$M = \frac{mL_{H_2SO_4}}{mL_{muestra}} \times 1000 \quad (\text{hasta pH} = 4.5)$$

$$\text{con } N_{H_2SO_4} = 1/50$$

# ALCALINIDAD



# ALCALINIDAD



# ALCALINIDAD

- MEDIDAS DE 'P' y 'M'
- MEDIDAS DE 'P', 'M' y pH

# ALCALINIDAD

## - MEDIDAS DE 'P', 'M' y pH

$$[OH^-] = \frac{K_w}{[H^+]}$$

$$[OH]_{mg/L CaCO_3} = 50000 \times 10^{(pH - pK_w)}$$

$$[CO_3^{=}]_{mg/L CaCO_3} = 2 \times (P - OH^-)$$

$$[HCO_3^-]_{mg/L CaCO_3} = M - (CO_3^{=} - OH^-)$$

# ALCALINIDAD

- MEDIDAS DE 'P' y 'M'
- MEDIDAS DE 'P', 'M' y pH
- ECUACIONES DE EQUILIBRIO

# DUREZA

Se consideran aguas duras a las que producen problemas de incrustación en las cañerías de agua caliente, calentadores, calderas y todas aquellas unidades en las cuales la temperatura del agua aumenta apreciablemente.

Causas: cationes divalentes metálicos.

# DUREZA

mg/L en CaCO <sub>3</sub>	Grado de Dureza
0 – 75	Blandas
75 – 150	Moderadamente blandas
150 – 300	Duras
> 300	Muy duras

# TIPOS DE DUREZA

**DUREZA TEMPORARIA:** asociada a carbonatos y/o bicarbonatos

**DUREZA PERMANENTE:** asociada a sulfatos, cloruros y nitratos.

# TIPOS DE DUREZA

$$D_T = D_{Ca} + D_{Mg}$$

$$D_T = DC + DNC$$

# TIPOS DE DUREZA

## CASO 1

$\text{Ca}^{++}$	$\text{Mg}^{++}$	$\text{Na}^+$
$\text{HCO}_3^-$	$\text{SO}_4^{=}$	$\text{Cl}^-$

$$D_T > \text{Alc}_T$$

$$D_{\text{Temp}} = \text{Alc}_T$$

$$D_{\text{Perm}} = D_T - \text{Alc}_T$$

# TIPOS DE DUREZA

## CASO 2

$\text{Ca}^{++}$	$\text{Mg}^{++}$	$\text{Na}^+$	
$\text{HCO}_3^-$		$\text{SO}_4^{=}$	$\text{Cl}^-$

$$D_T < \text{Alc}_T$$

$$D_{\text{Temp}} < \text{Alc}_T$$

$$D_{\text{Temp}} = [\text{Ca}^{++}] + [\text{Mg}^{++}]$$

# TIPOS DE DUREZA

## ORDEN DE LLENADO DE BARRAS

CATIONES:  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Sr}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$

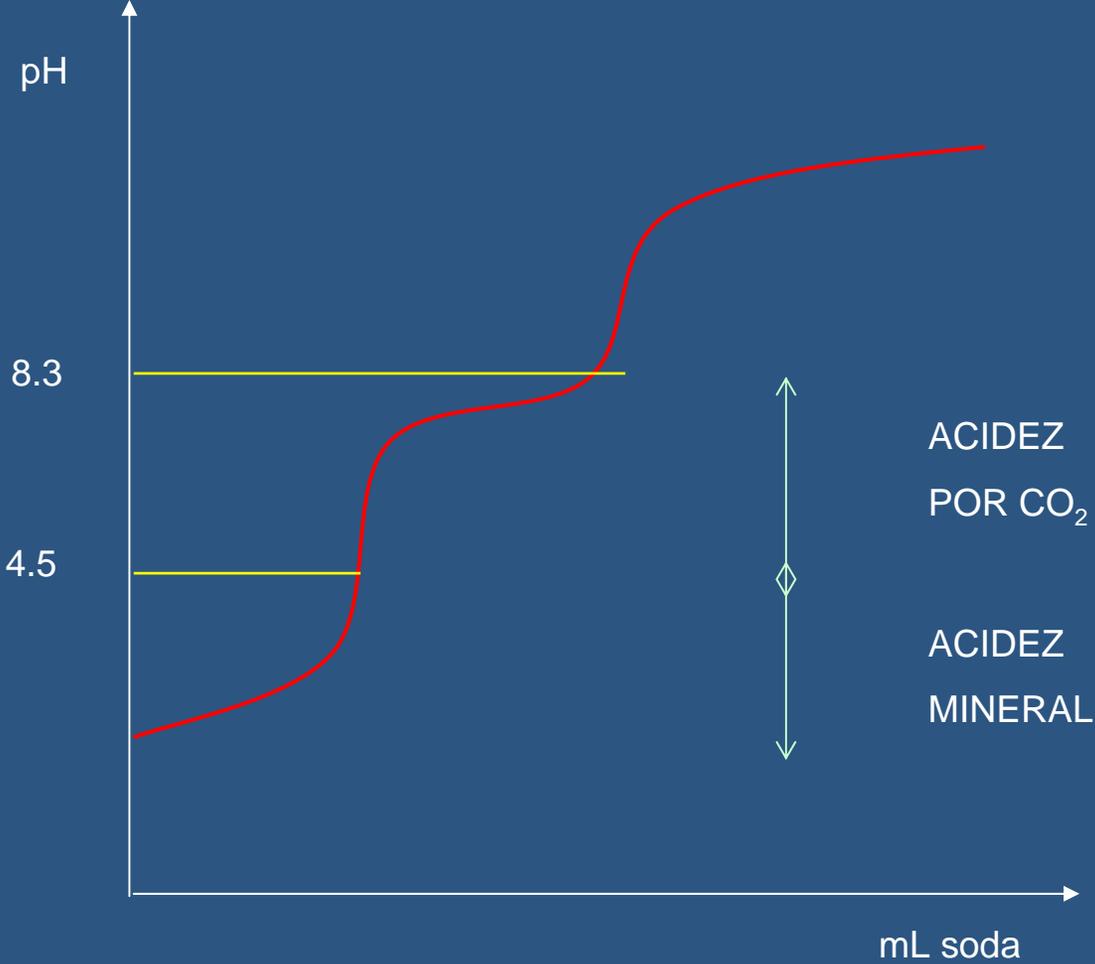
ANIONES:  $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^{=}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{Cl}^-$

# ACIDEZ

- CO<sub>2</sub>

- ACIDEZ MINERAL

# ACIDEZ



# TURBIDEZ

## MÉTODOS DE MEDIDA

- TURBIDIMÉTRICO

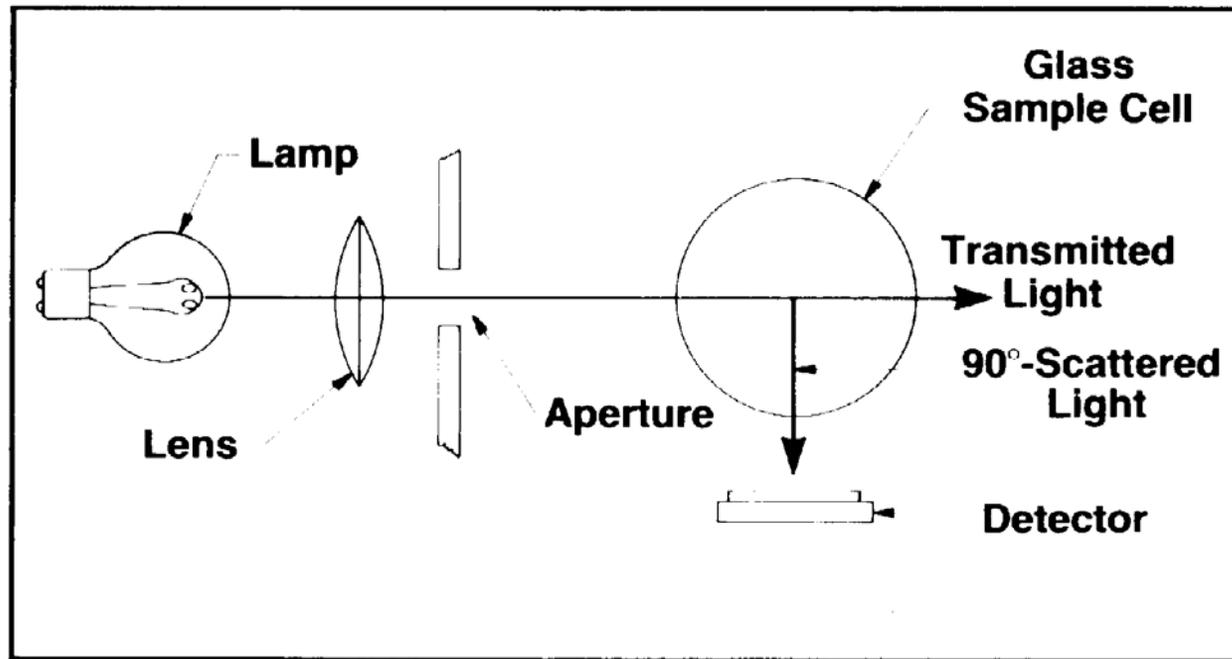
**Determina la fracción de luz transmitida**

Ej.: Turbidímetro de Jackson

- NEFELOMÉTRICO

**Determina la fracción de luz dispersada**

# TURBIDEZ



**Figure 1:** Nephelometer measuring 90°-scattered light

# TURBIDEZ

