

## MINERALIZACIÓN

- CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA
- DUREZA
- ALCALINIDAD
- IONES (SHÖLLER)

### CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La conductividad eléctrica es la capacidad de un agua para conducir electricidad; se mide como la conductividad que existe entre dos electrodos paralelos de 1 cm<sup>2</sup> de superficie cada uno y separados 1 cm situados en el seno del agua a medir de forma que el medio se pueda considerar infinito.

#### Unidades

Se expresa en microsiemens /cm (μS/cm).

$$1\mu\text{S}/\text{cm} = 10^{-6} \text{ S}/\text{cm}$$

Conductividad eléctrica (μS/cm)	Mineralización
Menor de 100	Muy débil
100 - 200	Débil
200 - 700	Media
700 a 1000	Importante
Más de 1000	Excesiva

Fuente: M. Espigares García, M. Fernández – Creuhet Navajas. Estudio Sanitario del Agua. 1995.

### DUREZA

Se define como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio expresadas ambas en miligramos por litro de carbonato cálcico (mg/L). Para calcular la dureza a partir de las concentraciones de calcio y magnesio, debemos convertir primero estas concentraciones a miliequivalentes por litro (meq/L). Esta conversión en términos de concentración permite considerar juntos al calcio y al magnesio.

Vamos a ver el significado de algunas unidades de medida:

#### Partes por millón (ppm)

Se trata de una unidad genérica de medida en el sentido de que puede representar diferentes unidades de medida (por ejemplo mg/L, μg/mL, mg/Kg), por lo tanto una ppm iguala a una parte de algo por millón de partes de otra cosa. Por tanto, si usted tiene datos de calidad de un agua en mg/L debe saber que esos datos son equivalentes a ppm. Por ejemplo, decir que un agua tiene una concentración de 50 mg/L de calcio es lo mismo que decir que su concentración en calcio es de 50 ppm.

### Partes por billón (ppb)

Similar en concepto a las partes por millón sólo que se trata de una unidad menor, es decir,

$$1 \text{ ppm} = 1000 \text{ ppb}$$

### Miliequivalentes por litro (meq/L)

Es otra forma de expresar la concentración que se usa cuando los analitos están disueltos y disociados.

Para calcular los meq Ca/ L a partir del valor de la concentración de calcio expresada en mg/L debemos tener en cuenta lo siguiente:

- El peso molecular del calcio es de 40.08 g/mol
- Calcio tiene valencia +2
- El peso equivalente del calcio es el peso molecular partido por la valencia es decir,

$$(40 \text{ g/mol}) / (2 \text{ equivalentes/mol}) = 20 \text{ g/eq}$$

- Para convertir a mg/meq simplemente hay que multiplicar los g/eq por 1000 mg/g y dividir por 1000 meq/eq, entonces obtenemos que g/eq es igual a mg/meq.
- Por ejemplo, si un agua contiene 30 mg Ca/L ¿cuántos meq/L contiene?

$$(30 \text{ mg Ca/L}) / (20.04 \text{ mg/meq}) = 1.50 \text{ meq Ca/L}$$

Ejemplo: Tenemos un agua que contiene 35 mg Ca/L y 22 mg Mg/L

Analito	mg/L	mg/meq	meq/L
Calcio	35	20.04	1.75
Magnesio	22	12.16	1.81
Carbonato cálcico	---	50.05	---

Para calcular la dureza del agua como mg CaCO<sub>3</sub>/L haríamos lo siguiente:

$$\text{meq/L} = (\text{mg/L}) / (\text{mg/meq})$$

$$\text{Dureza (mg/L CaCO}_3\text{)} = (\text{meq Ca/L} + \text{meq Mg/L}) \times 50.05$$

Sustituyendo los datos de la tabla de arriba,

$$\text{Dureza (mg CaCO}_3\text{/L)} = (1.75 + 1.81) \times 50.05 = 178 \text{ mg/L}$$

La siguiente tabla nos aporta un listado de los principales cationes y aniones que aparecen en un agua natural y asociado a cada analito nos da su valencia, su peso molecular en mg/mmol y su peso equivalente en mg/meq.

<b>Cationes</b>	<b>Valencia</b>	<b>Peso molecular (mg/mmol)</b>	<b>Peso equivalente (mg/meq)</b>
<b>Calcio</b>	+2	<b>40.08</b>	<b>20.04</b>
<b>Magnesio</b>	+2	<b>24.32</b>	<b>12.16</b>
<b>Sodio</b>	+1	<b>22.99</b>	<b>22.99</b>
<b>Potasio</b>	+1	<b>39.10</b>	<b>39.10</b>
<b>Aniones</b>	<b>Valencia</b>	<b>Peso molecular (mg/mmol)</b>	<b>Peso equivalente (mg/meq)</b>
<b>Carbonatos</b>	-2	<b>60.01</b>	<b>30.01</b>
<b>Bicarbonatos</b>	-1	<b>61.02</b>	<b>61.02</b>
<b>Cloruros</b>	-1	<b>35.46</b>	<b>35.46</b>
<b>Fluoruros</b>	-1	<b>19</b>	<b>19</b>
<b>Nitratos como N</b>	-1	<b>14.01</b>	<b>14.01</b>
<b>Sulfatos</b>	-2	<b>96.06</b>	<b>48.03</b>

Fuente: <http://wyagric.state.wy.us/aslab/wmterms.htm>

También es muy frecuente expresar la dureza como grados franceses, ingleses o alemanes.

Las equivalencias entre las distintas unidades se expresan en la tabla que se da a continuación,

<b>° Alemanes</b>	<b>° Franceses</b>	<b>° Ingleses</b>	<b>mg/L CaCO<sub>3</sub></b>	<b>mg/L HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>mg /L Ca<sup>+2</sup></b>
<b>0.562</b>	<b>1</b>	<b>0.699</b>	<b>10</b>	<b>12.20</b>	<b>4.01</b>

Una vez que hemos obtenido el valor de la dureza podemos determinar si un agua es dura o blanda.

Denominación	Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Dureza (grados ingleses)	Dureza (grados alemanes)	Dureza (grados franceses)
Blanda	0-50	hasta 3.5	hasta 2.8	hasta 5
Moderadamente blanda	50-100	hasta 7	hasta 5.6	hasta 10
Ligeramente dura	100-150	hasta 10.5	hasta 8.4	hasta 15
Moderadamente dura	150-200	hasta 14	hasta 11.2	hasta 20
Dura	200-300	hasta 21	hasta 16.9	hasta 30
Muy dura	>300	>21	>16.9	> 30

Fuente: [www.solartwin.com](http://www.solartwin.com)

NOTA: 1 ppm CaCO<sub>3</sub> = 1 mg/L CaCO<sub>3</sub> = 0.070 ° Clark = 0.100 ° Franceses = 0.056 ° Alemanes

## Interpretación de resultados

### Aguas duras

Son incrustantes.  
Producen gran consumo de jabón.  
Dificultan la cocción de los alimentos.

### Aguas blandas

Suelen ser agresivas.

### **Bibliografía adicional:**

J. RODIER. Análisis de las aguas. Editorial Omega. 1990.  
[www.yorkshirewater.com](http://www.yorkshirewater.com)

## ALCALINIDAD

La alcalinidad es la medida de las concentraciones de iones en el agua que reaccionarán para neutralizar un ácido. La mayoría de estos iones corresponde a la presencia de los bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos que pueden estar en la forma de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> o OH<sup>-</sup>. Todos estos compuestos resultan ser sales del ácido carbónico que proviene a su vez del anhídrido carbónico disuelto en el agua. Asimismo pueden originar alcalinidad compuestos como los fosfatos, sulfuros o amoníaco en forma de HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HS<sup>-</sup> y NH<sub>3</sub>. La alcalinidad se mide valorando la muestra de agua con un determinado ácido hasta que mediante un indicador experimenta un viraje de color.

## Unidades

Usualmente se expresa en ppm de  $\text{CaCO}_3$  o meq/L. ( 1 meq/L  $\text{CaCO}_3$  = 50 ppm  $\text{CaCO}_3$ ).

También:

Grados franceses ( $^\circ\text{F}$ )

1  $^\circ\text{F}$  = 10 ppm  $\text{CaCO}_3$

Grados alemanes ( $^\circ\text{A}$ )

1  $^\circ\text{A}$  = 10 ppm  $\text{CaO}$  = 17,8 ppm  $\text{CO}_3\text{Ca}$

Grados ingleses o grados Clark ( $^\circ\text{I}$ )

1  $^\circ\text{I}$  = 14,3 ppm  $\text{CaCO}_3$

## Tabla de conversiones

$^\circ$ Alemanes	$^\circ$ Franceses	$^\circ$ Ingleses	ppm $\text{CaCO}_3$	ppm $\text{HCO}_3^-$	Ppm $\text{Ca}^{+2}$
0.562	1	0.699	10	12.20	4.01

Una vez que hemos obtenido el valor de la alcalinidad, podemos determinar si el agua es dura o blanda,

Valoración	Alcalinidad (mg/L $\text{HCO}_3^-$ )	Alcalinidad (mg/L $\text{CaCO}_3$ )
Muy baja	< 15	< 12.3
Baja	30-50	24.6 - 41
Media	50-120	41 - 98.4
Alta	120-180	98.4 - 147.6
Muy alta	>180	> 147.6

Fuente: Criterios elaborados por el Centro Canario del Agua

## Importancia:

Las aguas que tienen valores de alcalinidad altos son consideradas indeseables debido a la dureza excesiva y la elevada concentración de sales de sodio. Las aguas con valores de alcalinidad bajos son susceptibles de sufrir acidificación.

## Bibliografía adicional:

E. CUSTODIO, R. LLAMAS. Hidrología subterránea. Ediciones Omega. 1996.

## IONES (SHÖLLER)

Esta clasificación tiene en cuenta los valores absolutos de las concentraciones de cada ión. Se distingue:

- a) **Grupo** según cloruros, sulfatos o bicarbonatos. Asigna un número según la concentración de cada uno de estos iones. Obtendremos un número formado por tres cifras en base a dichas concentraciones,

Grupo de cloruros	Denominación	Valor meq/L Cl <sup>-</sup>	Observaciones
1	Hiperclorurada	> 700	hasta saturación
2	Clorotalásica	700 a 420	agua del mar 560
3	Clorurada fuerte	420 a 140	
4	Clorurada medio	140 a 40	
5	Oligoclorurado	40 a 15	
6	Clorurada normal	< 10	

Grupo de sulfatos	Denominación	Valor meq/l SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Observaciones
1	Hipersulfatada	> 58	agua del mar 58
2	Sulfatada	58 a 24	
3	Oligosulfatada	24 a 6	
4	Sulfatada normal	< 6	

Grupo de bicarbonatos	Denominación	Valor meq/L HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
1	Hiperbicarbonatada	> 7
2	Bicarbonatada normal	7 a 2
3	Hipobicarbonatada	< 2

- b) **Tipo** en el que participan los aniones fundamentales Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup>. Se establecen tres tipos fundamentales (Tipo 1, Tipo 2 o Tipo 3) en base a la relación entre cloruros(Cl<sup>-</sup>) y sodio (Na<sup>+</sup>). A continuación establecemos el subtipo en base a la relación entre la concentración de calcio (Ca<sup>+2</sup>) y la concentración de bicarbonatos (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Por último, y solamente para el Tipo 1 y Tipo 3 subtipo b, le asignamos un nuevo símbolo (parcial: α, α β o β) en base a la relación existente entre la concentración de diversos iones señalados en la tabla.

Tipo	1	2	3
Carácter	icb (+) = (meq/L Cl <sup>-</sup> > meq/l Na <sup>+</sup> )	icb (0) = meq/L Cl <sup>-</sup> = meq/l Na <sup>+</sup>	icb (-) = meq/L Cl <sup>-</sup> < meq/l Na <sup>+</sup>
Subtipo	a	a ab b	a ab b
Carácter	(a) meq/L Ca <sup>+2</sup> > meq/L HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	(a) meq/L Ca <sup>+2</sup> > meq/LCO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> (ab) meq/LCa <sup>+2</sup> = meq/LCO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> (b) meq/L Ca <sup>+2</sup> < meq/l CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>	(a) meq/L Ca <sup>+2</sup> > meq/l CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> (ab) meq/L Ca <sup>+2</sup> = meq/l CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> (b) meq/L Ca <sup>+2</sup> < meq/l CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>
Parcial	α α β β		Si meq/L Ca <sup>+2</sup> < meq/l CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> : α α β β
Carácter	(α) meq/l Ca <sup>+2</sup> > meq/l SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + meq/L CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> (αβ) meq/l Ca <sup>+2</sup> = meq/l SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + meq/L CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> (β) meq/l Ca <sup>+2</sup> < meq/l SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + meq/L CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>		(α) meq/L CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> < meq/L Mg <sup>+2</sup> + meq/L Ca <sup>+2</sup> (αβ) meq/L CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> = meq/L Mg <sup>+2</sup> + meq/L Ca <sup>+2</sup> (β) meq/L CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> > meq/L Mg <sup>+2</sup> + meq/L Ca <sup>+2</sup>

c) **Clase**, que viene dada por la siguiente clasificación:

**Clasificación geoquímica en base a los iones dominantes:**

Se nombra el agua por el anión o el catión que sobrepasa al 50% de sus sumas respectivas; si ninguno supera el 50% se nombran los dos más abundantes. Si conviene se puede añadir el nombre de algún ión menor que esté en concentración anormalmente alta.

Para simplificar la expresión, a cada posible ordenación de aniones y cationes se les da un número y una letra que sirven para denominar el agua.

Los grupos que se hacen son:

**Aniones**

- 1 meq/L Cl<sup>-</sup> > meq/L SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > meq/L CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup>
- 2 meq/L Cl<sup>-</sup> > meq/L CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup> > meq/L SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>
- 3 meq/L SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > meq/L Cl<sup>-</sup> > meq/L CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup>
- 4 meq/L SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > meq/L CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup> > meq/L Cl<sup>-</sup>
- 5 meq/L CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup> > meq/L Cl<sup>-</sup> > meq/L SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>
- 6 meq/L CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup> > meq/L SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > meq/L Cl<sup>-</sup>

**Cationes**

- a meq/L Na<sup>+</sup> > meq/L Mg<sup>+2</sup> > meq/L Ca<sup>+2</sup>
- b meq/L Na<sup>+</sup> > meq/L Ca<sup>+2</sup> > meq/L Mg<sup>+2</sup>
- c meq/L Mg<sup>+2</sup> > meq/L Na<sup>+</sup> > meq/L Ca<sup>+2</sup>
- d meq/L Mg<sup>+2</sup> > meq/L Ca<sup>+2</sup> > meq/L Na<sup>+</sup>
- e meq/L Ca<sup>+2</sup> > meq/L Na<sup>+</sup> > meq/l Mg<sup>+2</sup>
- f meq/L Ca<sup>+2</sup> > meq/L Mg<sup>+2</sup> > meq/l Na<sup>+</sup>

**Fuente:** H. SHÖLLER Hydrogéologie. Inst. Francais du pétrole, 1955.

### **Ejemplo explicativo:**

Tenemos el siguiente resultado de analítica:

#### Aniones

$$\text{HCO}_3^- = 3.2 \text{ meq/L}$$

$$\text{SO}_4^{2-} = 2.3 \text{ meq/L}$$

$$\text{Cl}^- = 1.8 \text{ meq/L}$$

#### Cationes

$$\text{Na}^+ + \text{K}^+ = 2.0 \text{ meq/L}$$

$$\text{Ca}^{+2} = 3.0 \text{ meq/L}$$

$$\text{Mg}^{+2} = 2.3 \text{ meq/L}$$

Según Schöller el agua se clasificaría como: **642 – 3ba – 6f**, es decir, grupo 642, tipo 3ba, clase 6f